

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

Katedra obrábění a montáže

## ZEFEKTIVNĚNÍ VÝROBY PŘESNÝCH OTVORŮ V DÍLECH ZE SLITIN HLINÍKU

The Streamlining Production of Precise Holes in Parts from Aluminum  
Alloys

VYPRACOVAL:

Bc. Roman Smrčka

VEDOUCÍ PRÁCE:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

OSTRAVA 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Roman Smrčka**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: Zefektivnění výroby přesných otvorů v dílech ze slitin hliníku  
The Streamlining Production of Precise Holes in Parts from Aluminum Alloys

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika obrábění hliníkových slitin.
3. Návrh vhodného řešení konkrétního dílu.
4. Diskuze experimentu.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.  
[2] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.  
[3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.  
[4] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Konzultant diplomové práce: Ing. Jaroslav Tempír

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18.5.2015

  
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18.5.2015



.....  
podpis studenta

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Roman Smrčka  
Na Pilníku 279  
78991 Štítý

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Smrčka, R. Zefektivnění výroby přesných otvorů v dílech ze slitin hliníku: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2015, s. 84, Vedoucí práce doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Obsahem diplomové práce je popis možnosti zefektivnění výroby přesného otvoru v díle ze slitiny hliníku. V úvodu práce jsou charakterizovány požadavky kladené na přesné otvory a jejich metody výroby. Dále je objasněna problematika obrábění hliníku a hliníkových slitin.

Cílem experimentální části diplomové práce je navržení vhodného řešení daného problému. Řešením je návrh nové technologie výroby otvoru, kterému předcházela analýza technologie původní. Analýza zahrnovala měření času výroby, drsnosti povrchu a kruhovitosti otvoru. Následovalo porovnání a vyhodnocení výsledků dosažených oběma technologiemi. Bylo zjištěno, že nová technologie zefektivní výrobu přesného otvoru. Tato část práce byla realizována ve spolupráci se společnostmi KLEIN automotive s.r.o. a Pramet Tools s.r.o.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

Smrčka, R. The Streamlining Production of Precise Holes in Parts from Aluminum Alloys. Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Cutting and Assembly, 2015, p. 84, Thesis head: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

The content of my thesis is description of the possibility of the streamlining production of precise holes in parts from aluminum alloys. At the beginning of my thesis there are characterized requirements on precise holes and their production methods. Then there is clarified problems with machining aluminium and its alloy.

The goal of the experimental part of my thesis is suggestion for appropriate solution connected to the problem. The solution is suggestion of a new technology of production of a hole which preceded analysis of the original technology. This analysis included measuring of the production time, surface roughness and hole circularity. Following part is about comparing and evaluation of the results with both technologies. It was ascertained that the new technology will streamline production of the precise hole. This part was implemented in collaboration with companies KLEIN automotive s.r.o. and Pramet Tools s.r.o.

# Obsah

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	9
1 ÚVOD .....	10
2 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU .....	11
2.1 SPOLEČNOST KLEIN AUTOMOTIVE S R.O. ....	11
2.2 Sortiment výroby společnosti .....	12
3 VÝROBA PŘESNÝCH OTVORŮ .....	15
3.1 Požadavky kladené na přesné otvory .....	15
3.1.1 Geometrické odchylky .....	15
3.1.1.1 Odchylka polohy a směru .....	16
3.1.1.2 Odchylka tvaru .....	17
3.1.2 Odchylka rozměru .....	18
3.2 Parametry struktury povrchu .....	19
3.3 Vlastnosti povrchové vrstvy .....	23
3.3.1 Zbytková napětí .....	23
3.3.2 Zpevnění povrchu .....	26
3.3.3 Trhliny v povrchové vrstvě .....	27
3.4 Metody výroby přesných otvorů .....	28
3.4.1 Jemné soustružení .....	28
3.4.2 Jemné frézování .....	30
3.4.3 Vrtání .....	31
3.4.4 Vyvrtávání .....	33
3.4.5 Broušení .....	34
3.4.6 Vystružování .....	35
4 HLINÍK .....	39
4.1 Vlastnosti hliníku .....	39
5 SLITINY HLINÍKU .....	40
5.1 Vliv legujících prvků na vlastnosti slitin hliníku .....	41

5.2	Rozdělení slitin hliníku .....	41
5.2.1	Rozdělení podle chemického složení .....	41
5.2.2	Rozdělení podle tepelného zpracování .....	42
5.2.2.1	Nevytvrditelné slitiny .....	42
5.2.2.2	Vytvrditelné slitiny .....	42
5.2.2.3	Slitiny tvářené .....	45
5.2.2.4	Slitiny slévárenské .....	45
5.2.2.5	Slitiny automatové .....	45
5.2.3	Rozdělení podle značení .....	45
6	PROBLEMATIKA OBRÁBĚNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN .....	46
6.1	Obrábění slitin hliníku .....	46
6.2	Obrobitelnost .....	46
6.2.1	Obrobitelnost hliníku a slitin hliníku .....	47
6.2.2	Hodnocení obrobitelnosti hliníku a jeho slitin .....	48
6.2.3	Řezné podmínky .....	49
6.2.4	Řezný nástroj .....	50
6.2.4.1	Geometrie nástroje .....	50
6.2.4.2	Materiál řezného nástroje .....	51
6.2.4.3	Povrchová úprava nástroje .....	52
7	NÁVRH VHODNÉHO ŘEŠENÍ KONKRÉTNÍHO OTVORU .....	53
7.1	Vybraná součást pro návrh nové technologie .....	54
7.1.1	Součást INLET FLANGE .....	54
7.2	Původní technologie výroby otvoru .....	55
7.2.1	Stroj .....	55
7.2.2	Nástroje .....	56
7.3	Nová technologie výroby otvoru .....	58
7.3.1	Stroj .....	58
7.3.2	Nástroje .....	60

8	DISKUZE EXPERIMENTU .....	61
8.1	Experiment .....	61
8.1.1	Měřicí zařízení .....	62
8.1.1.1	Měření kruhovitosti .....	62
8.1.1.2	Měření drsnosti povrchu .....	62
8.2	Původní technologie výroby otvoru .....	63
8.2.1	Výsledky měření drsnosti povrchu a kruhovitosti – původní technologie ...	63
8.3	Nová technologie výroby otvoru - experiment .....	67
8.3.1	Výsledky měření drsnosti povrchu a kruhovitosti – nová technologie.....	67
9	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	70
9.1	Porovnání časů výroby.....	70
9.2	Ekonomické zhodnocení .....	71
10	ZÁVĚR .....	72
11	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	73
12	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK .....	81



## SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

IT	[-]	Toleranční stupeň
Ra	[μm]	Střední aritmetická úchylka profilu
Rz	[μm]	Největší výška profilu
Zp	[μm]	Největší výšky profilu
Zv	[μm]	Největší prohlubeniny profilu
Rmr(c)	[%]	Materiálový poměr profilu
l <sub>n</sub>	[mm]	Měřená délka
l <sub>r</sub>	[mm]	Základní délka
r <sub>n</sub>	[μm]	Poloměr zaoblení ostří
δ <sub>0B</sub>	[°]	Úhel řezu
γ	[°]	Úhel čela
λ	[°]	Úhel ostří
	[°]	Úhel nastavení hlavního ostří
p	[mm]	Přídavek pro vystružování
h <sub>min</sub>	[mm]	Minimální tloušťka třísky
KBN		Kubický nitrid boru
PKNB		Polykrystalický kubický nitrid boru
PKD		Polykrystalický diamant
SK		Slinutý karbid
RO		Rychlořezná ocel

# 1 ÚVOD

Využití neželezných materiálů je poměrně velké a neustále roste. Největší nárůst zaznamenaly součásti z hliníkových slitin. Důvodem je neustále se rozvíjející automobilový průmysl, ve kterém jsou v hojném počtu využívány. Automobilový průmysl není jediný, kde se tyto součásti používají, také jsou velmi rozšířeny v leteckém průmyslu.

Ze slitin hliníku se nejčastěji vyrábějí kompresory, komponenty do chladicích systémů automobilů a motorů, velmi přesné a tvarově náročné díly jako jsou závaží, distanční podložky a mnoho dalších. Obrobitelnost hliníkových slitin je ovlivňována velkým množstvím faktorů, kterými se diplomová práce také zabývá.

V současné době je tendence vyrábět součásti s vysokou přesností a kvalitou povrchu při minimálních nákladech. Tyto náklady představují výdaje na mzdy, nástroje, energie atd. Je tedy nezbytné, aby výroba byla vysoce produktivní. Toho se výrobci snaží docílit snížením výrobních časů, úpravou technologie nebo její záměnou za jinou či dokonce úplným vypuštěním z procesu výroby. Výjimkou není ani oblast výroby přesných otvorů. Výrobních technologií pro zhotovení přesných otvorů je nespočet. Můžeme je realizovat soustružením, frézováním, vrtáním, vyvrtáváním, vystružováním, broušením apod.

Produktivitu výroby ovlivňují kromě výše uvedených vlivů také definovatelné a nedefinovatelné faktory. Tyto faktory mohou pozitivně či negativně ovlivnit proces obrábění. Liší se od sebe možnostmi ovlivnění a změny před nebo v průběhu výrobního procesu. Definovatelné faktory jako jsou např. řezné podmínky, geometrie břitu lze ovlivnit nebo měnit. Nedefinovatelné faktory, které se vyskytují náhodně, a jsou to např. vměstky nebo defekty nástroje, můžeme předvídat, ale nelze je nějakým způsobem ovlivnit.

V diplomové práci je popsána problematika obrábění hliníku, jeho slitin a výroby přesných otvorů. Cílem práce je zefektivnění výroby přesných otvorů v dílech ze slitin hliníku. Součástí diplomové práce je také experimentální část, kde je zkoumána původní technologie výroby přesného otvoru (součásti). Na základě výsledků analýzy je navržena nová technologie výroby otvoru, jejímž účelem je zefektivnění procesu.

## 2 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU

### 2.1 SPOLEČNOST KLEIN AUTOMOTIVE S R.O.

Společnost KLEIN automotive s.r.o. sídlí ve Štítěch na severní Moravě. Společnost se zabývá výrobou obráběných a tvářených kovových dílů pro automobilový průmysl, především se jedná o díly karoserií, součásti pro chladicí a klimatizační jednotky a osvětlení vozu.

[1]



Obr. 1 – Sídlo firmy [3]

Historie společnosti sahá do devadesátých let minulého století. V roce 1994 byl státní podnik JESAN Štítý privatizován a přejmenován na Klein & Blažek spol. s.r.o. Dva roky poté byla zakoupena Tírna Štítý, což je dnešní závod 2. Tento rok se zapsal do dějin společnosti, protože ji také navštívil tehdejší premiér Václav Klaus. Od roku 1996 společnost investovala nemalé finanční prostředky na rozšiřování výrobních, skladovacích a administrativních prostorů. Byly například vybudovány sklady hotových výrobků nebo sklady tyčového materiálu, nová recepce. Dále byly postaveny 2 nové lisovny. O tom, že se firma rozvíjí a rozšiřuje své zázemí, svědčí i fakt, že počet zaměstnanců se od roku 2002 neustále zvyšuje. V roce 2002 zaměstnávala 500 zaměstnanců a v roce 2014 už překročila číslo 700.

[2]

Prvními majiteli společnosti Klein & Blažek spol. s.r.o. byli Antonín Klein a Ing. Richard Blažek. V roce 2008 však došlo k odkoupení podílu pana Blažka panem Kleinem a společnost vedla pouze rodina Kleinů, i když v názvu pořád zůstalo jméno Blažek. V roce 2015 došlo k úplnému přejmenování společnosti na KLEIN automotive s.r.o. Jednatel se stal Petr Klein st.

[3]

V současnosti firma má 2 závody. První se zabývá lisováním, svařováním a montáží a druhý obráběním a tepelným zpracováním.

[3]



Obr. 2 – Závod 1 [3]



Obr. 3 – Závod 2 [3]

V roce 2014 firma pořídila lisovací automat ANDRITZ KAISER 1000 servo, další dvě nová svařovací robotizovaná pracoviště, 3D optický scan a pětiosé frézovací centrum pro nástrojárnu a dokončila výstavbu logistického centra. V letech 2012 až 2014 společnost proinvestovala skoro půl miliardy českých korun. Investice směřovaly především do výrobních technologií a nových prostor.

[2]

## 2.2 Sortiment výroby společnosti

V sortimentu společnosti KLEIN automotive s.r.o. jsou lisované, svařované, obráběné díly, které jsou ve většině případů i tepelně zpracovány. Společnost také disponuje

prostory potřebných pro montáž celků (sestav, podsestav). Převážná část výroby společnosti je určena pro automobilový průmysl.

Největší část vyráběného sortimentu asi 54 % patří lisovaným a svařovaným dílům. Tyto díly jsou především určeny jako náhradní díly pro různé části automobilů a jako komponenty v podvozcích automobilů. Dále to jsou bezpečnostní díly airbagů a bezpečnostních pásů.



**Obr. 4 – Lisované a svařované díly [3]**

Zbývající část výroby připadá obráběným dílům. Obrábění dílů je prováděno na moderních CNC soustruzích Index, Torson a CNC frézovacích centrech Deckel Maho, Chiron

Soustružené a frézované díly slouží jako komponenty motorů a klimatizací. Dále to jsou velmi přesné a tvarově náročné díly jako závaží, distanční podložky a nespočet dalších. Největšími objednateli těchto dílů jsou firmy Škoda Auto, TRW, Visteon—Autopal a Kendrion.

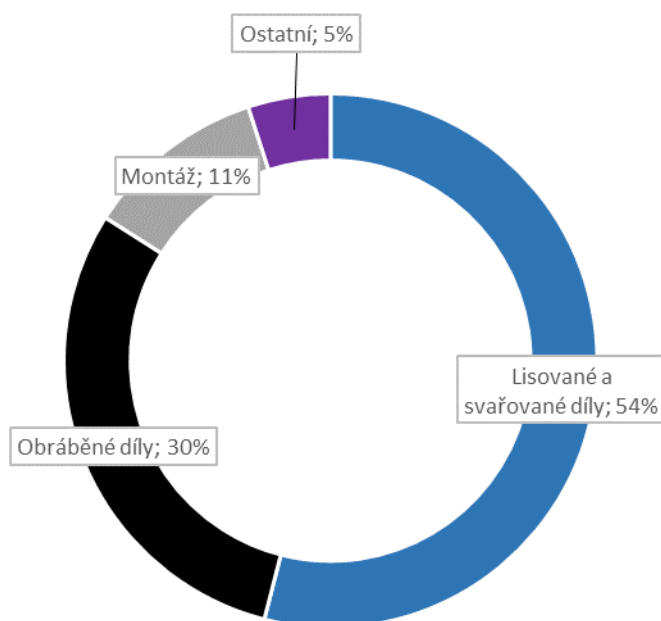
[2] [3]



**Obr. 5 – Obráběné díly [3]**

Třetím segmentem výroby ve společnosti je montáž podsestav a sestav. Jedná se o montáž mnoha typů držáku žárovek světlometů pro různé typy automobilů.

[2] [3]



**Obr. 6 – Podíl jednotlivých segmentů výroby společnosti [3]**

### 3 VÝROBA PŘESNÝCH OTVORŮ

„Přesný otvor“ není v dostupné literatuře jednoznačně určen a definován. Obecně se tímto termínem označují otvory vyrobené s tolerancí IT 8 a s drsností povrchu předepsanou parametrem  $R_a$  nižší než  $0,8 \mu\text{m}$ . Nicméně tato definice není absolutní a zcela dostatečná. Na problematiku přesných otvorů je nezbytné nahlížet komplexně jako na soubor různých parametrů.

Termínem „přesný otvor“ lze označit otvor, který je vyroben různou technologií a splňuje požadavky na správnou funkci součásti. Může to tedy být otvor vyroben přesným litím. Naopak otvor vyrobený s vysokou přesností, který však nevyhovuje požadavkům na funkčnost součásti, nemůže být označován jako „přesný otvor“.

#### 3.1 Požadavky kladené na přesné otvory

Každý otvor je identifikován souborem parametrů, které jsou dány konkrétními technologickými podmínkami obrábění. Nejdůležitějšími parametry jsou:

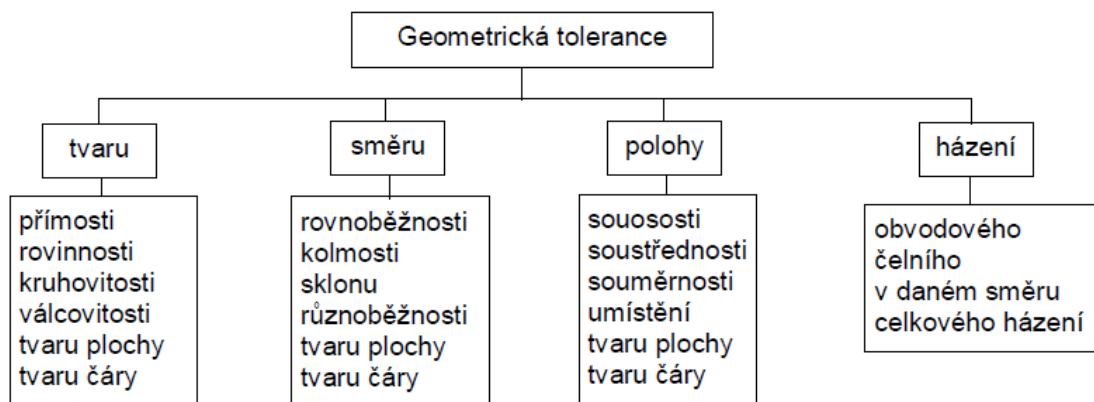
- Geometrické odchylky,
- odchylky rozměru,
- parametry struktury povrchu,
- vlastnosti povrchové vrstvy.

##### 3.1.1 Geometrické odchylky

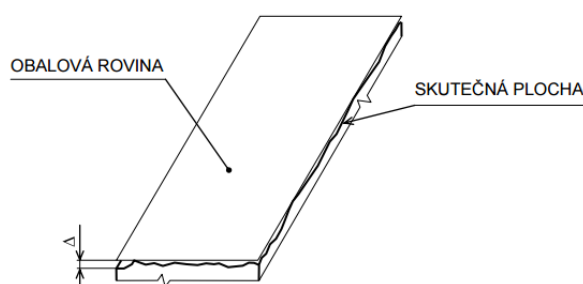
Žádnou technologií výroby nedosáhneme zcela přesného geometrického tvaru. Je to způsobeno nepřesnostmi v procesu výroby. Výsledkem těchto nepřesností jsou geometrické odchylky vyjadřující rozdíl mezi jmenovitou a skutečnou plochou. Tyto odchylky musí být neustále měřeny a kontrolovány.

Z hlediska výroby přesných děr je důležitá především odchylka směru, polohy a tvaru. Mezi geometrické odchylky patří také házení.

[4] [5]



Obr. 7 – Členění geometrických tolerancí dle ISO 1101 [6]



Obr. 8 – Geometrická odchylka [5]

### 3.1.1.1 Odchylka polohy a směru

Mezi geometrické odchylky polohy patří odchylky souososti, soustřednosti, souměrnosti, umístění, tvaru plochy a čáry, které spadají i do odchylek směru.

Geometrickými odchylkami směru jsou rovnoběžnost, kolmost, sklon a různoběžnost.

Z hlediska výroby přesných otvorů jsou nejdůležitější odchylky rovnoběžnosti, souososti a kolmosti. Jsou ovlivňovány především vrtáním, vyvrtáváním, vyhrubováním apod. Dokončovacím obráběním (vystružování, jemné frézování apod.) je lze ovlivnit velmi málo.

[4] [6]



Tyto odchylky jsou předepisovány náležitými značkami (Tabulka 1)

**Tabulka 1 - Značky pro odchylky polohy a směru [5]**

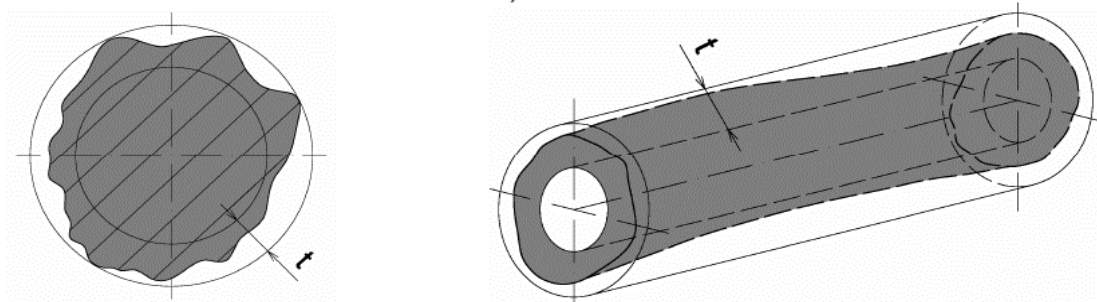
Tolerance		Značka
<b>Polohy</b>	Souososti a soustřednosti	
	Souměrnosti	
	Umístění	
	Tvaru plochy	
	Tvaru čáry	
<b>Směru</b>	Rovnoběžnosti	
	Kolmosti	
	Sklonu	
	Různoběžnosti	
	Tvaru plochy	
	Tvaru čáry	

### 3.1.1.2 Odchylka tvaru

Při výrobě přesných otvorů je nejvíce sledována odchylka kruhovitosti a válcovitosti. Dobrou kruhovitost otvoru získáme vystružováním. Pomocí této metody obrábění také dosáhneme vysoké kvality povrchu vyrobeného otvoru.

Geometrická odchylka tvaru zahrnuje kromě kruhovitosti a válcovitosti také odchylku rovinnosti, přímosti, tvaru čáry a plochy.

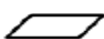



[4] [6]



**Obr. 9 – Toleranční pole kruhovitosti a válcovitosti [7]**

I tyto odchylky jsou tolerovány a předepisovány určitými značkami (Tabulka 2).

**Tabulka 2 - Značky pro odchylky tvaru [5]**

Tolerance		Značka
<b>Tvar</b>	Přímosti	—
	Rovinnosti	
	Kruhovitosti	○
	Válcovitosti	
	Tvaru čáry	
	Tvaru plochy	

### 3.1.2 Odchylka rozměru

Odchylka rozměru vyjadřuje rozdíl naměřeného a požadovaného (jmenovitého) rozměru otvoru. Je nutné, aby délkové a úhlové rozměry strojních součástí a tedy i otvorů byly tolerovány. Důvodem je, že dnes dostupnými technologiemi není možné vyrobit zcela přesný rozměr, tzn., že je nelze vyrobit s absolutní přesností. Velikost tolerance rozměru udává, s jakou přesností je otvor vyroben.

[7] [8]

Toleranci rozměru tvoří toleranční stupeň (IT) a jeho poloha vzhledem k jmenovitému rozměru.

Toleranční stupeň definuje velikost tolerance. Dle normy ISO je pro rozměry do 500 mm zavedeno 20 tolerančních stupňů (stupňů přesnosti) a označují se IT 01, IT 0, IT 1 ... IT 18. Pro výrobu kalibrů a měřidel jsou určeny toleranční stupně IT 0 až IT 4. Poloha tolerančního pole je označována malými a velkými písmeny. Díry se označují velkými (A ... ZC) a hřídele malými (a ... zc) písmeny abecedy.

Tolerance rozměru může být definována číselně mezními odchylkami od jmenovitého rozměru ( $25 \pm 0,035$ ).

[7] [8]

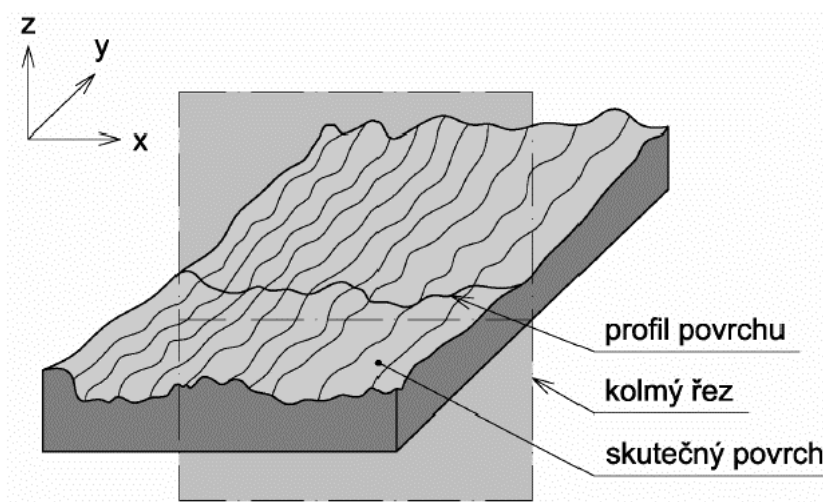
### 3.2 Parametry struktury povrchu

Všechny technologické metody způsobují na povrchu nerovnosti, výjimkou není ani obrábění. U obrábění se jedná o nerovnosti nebo také stopy na obrobeném povrchu, které vznikají působením řezného nástroje.

Z hlediska nerovností povrchu součásti a jejich posouzení rozlišujeme:

- Nedokonalost povrchu – tyto nedokonalosti vznikají v průběhu výroby, manipulace, funkce součásti nebo jsou způsobeny špatným skladováním. Jejich výskyt je nahodilý. Patří sem rýhy, póry, mikrotrhliny, koroze. Nezahrnují se do hodnocení struktury povrchu.
- Struktura povrchu – vyjadřuje opakované odchylky od jmenovitého povrchu tvořící trojrozměrnou topografii povrchu. Struktura povrchu je tvořena nerovnostmi o určité rozteči, podle kterých se dělí na jednotlivé složky.
  - Drsnost povrchu (rozteč nerovností je nejmenší)
  - Vlnitost povrchu
  - Základní profil (rozteč nerovností je největší)

[7] [9] [10] [11]

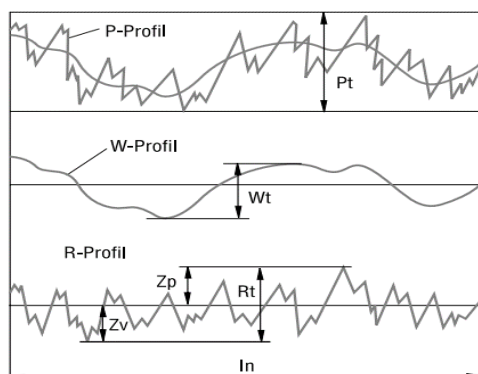


Obr. 10 – Profil povrchu [7]

Základním zdrojem informací pro vyhodnocování struktury povrchu je profil povrchu. Profil povrchu vznikne průsečnicí nerovností skutečného povrchu s rovinou, která je vedena kolmo k tomuto povrchu.

Prostřednictvím profilometrů (dotykový měřicí přístroj) se z profilu povrchu získá R – profil (profil drsnosti), W – profil (profil vlnitosti) a P – profil (profil základního profilu).

[11] [12] [13] [14] [15] [16]



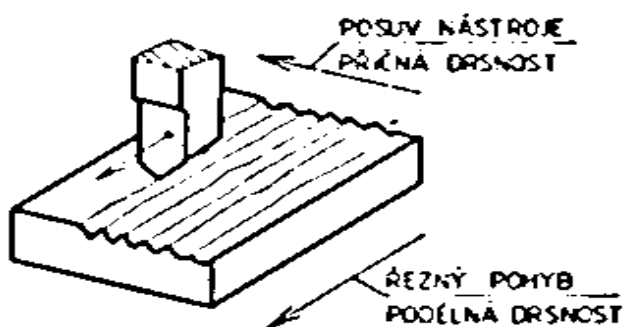
Obr. 11 – Profily povrchu [13]

Profil drsnosti je základem pro hodnocení R – parametru (parametr profilu drsnosti povrchu).

Drsnost obrobeneho povrchu je obvykle odlišná v příčném a podélném směru. Proto je nutné ji posuzovat v obou směrech.

- příčný směr je kolmý ke směru řezného pohybu,
- podélný směr je rovnoběžný s řezným pohybem

[11] [14]



Obr. 12 – Posuzování a hodnocení drsnosti [16]

***Střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$  (Obr. 14)*** - aritmetický průměr absolutních hodnot  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $l_r$ . Definici lze vyjádřit vztahem 3.1

[12]

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad [\mu m]$$

(3.1)

Charakteristika  $R_a$  nevypovídá zcela přesně o podobě povrchu, nereaguje totiž na extrémní profil povrchu. To je patrné na Obr. 13, kde  $R_a$  je v obou případech stejné. Proto je zcela nevhodná při vyhodnocování členitých, pórovitých povrchů nebo povrchů porušených hlubokými trhlinami.

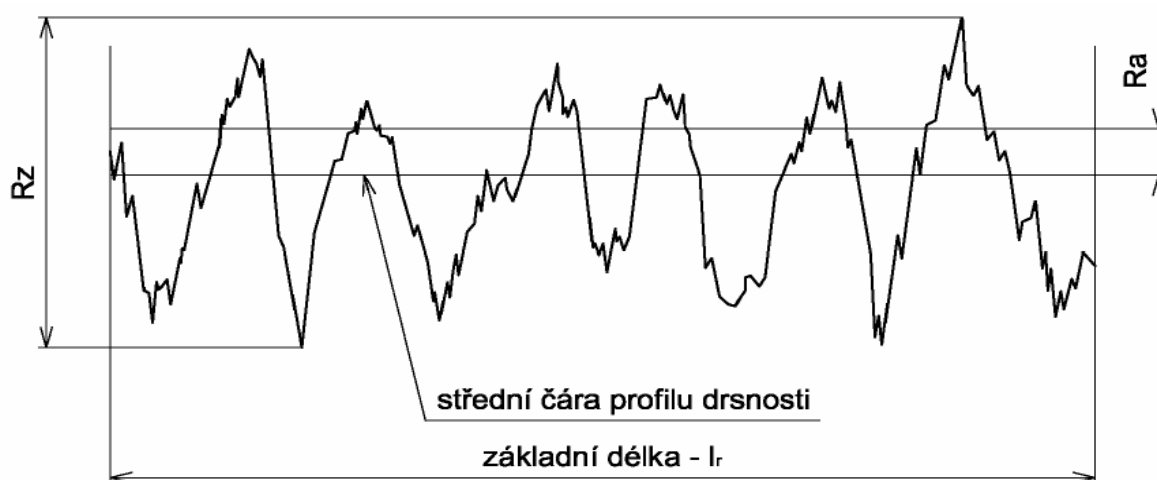
[10] [12] [13]



Obr. 13 – Extrémy profilu povrchu [10]

***Nejvyšší výška profilu  $R_z$  (Obr. 14)*** – součet největší výšky profilu  $Z_p$  a největší prohlubeniny profilu  $Z_v$  v rozsahu základní délky.

[10] [12] [13]



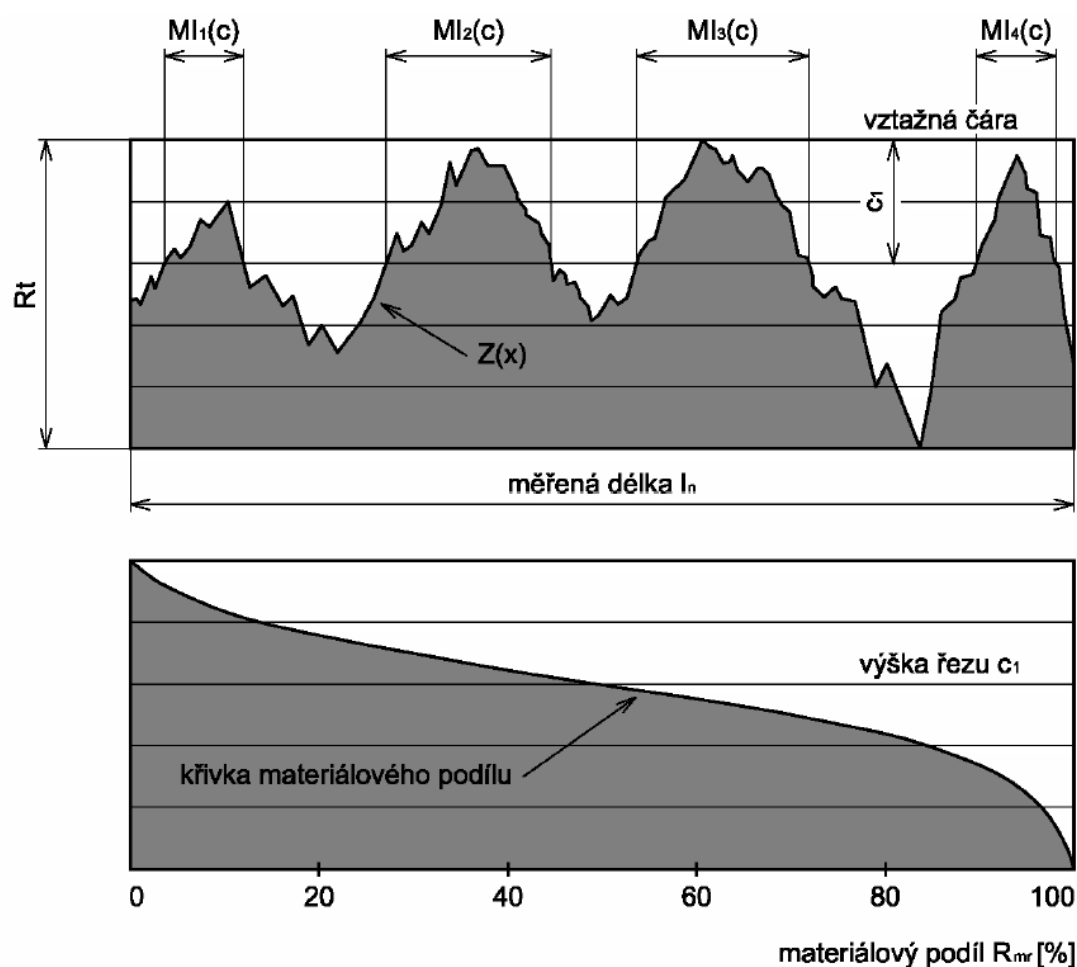
Obr. 14 – Parametry drsnosti  $R_a$  a  $R_z$  [7]

Dalšími významnými parametry profilu povrchu je materiálový poměr profilu (nosný podíl)  $R_{mr}$  a křivka materiálového poměru profilu (nosná křivka). Nosný podíl vyjadřuje poměr délky materiálu elementů  $MI(c)$  v určité výšce profilu k délce, na které je měření realizováno. Definuje ho vztah 3.2.

$$R_{mr}(c) = \frac{100}{l_n} \sum_{i=1}^n MI_i(c) = \frac{MI(c)}{l_n} \quad [\%] \quad (3.2)$$

Nosná křivka vyjadřuje poměr materiálu jako funkci výšky (hladiny) řezu a její tvar se mění s různými dokončovacími metodami obroběného povrchu. Pokud je sklon střední části nosné křivky malý, jedná se o lapovaný povrch.

[10] [15] [17]



Obr. 15 – Křivka materiálového podílu drsnosti povrchu [15]

### 3.3 Vlastnosti povrchové vrstvy

#### 3.3.1 Zbytková napětí

Při obrábění dochází k deformaci tenké vrstvy pod obrobenou plochou. Tato deformace je způsobena silovým působením řezného nástroje.

V průběhu obrábění vzniká mezi nástrojem a obráběnou plochou tření, jehož následkem dochází k zahřátí povrchové vrstvy. Vzniklé teplo ve spojení s deformací způsobuje v povrchové vrstvě napětí a mění její fyzikálně – mechanické vlastnosti.

Za předpokladu, že napětí nepřekročí mez pružnosti, dojde po odstranění vnějšího vlivu způsobujícího napětí k zániku napjatosti. Pokud však v nějakém místě součásti vznikne plastická (trvalá) deformace, tak zbytkové napětí přetrvávají v součásti i po odstranění vnějšího působitele způsobujícího deformaci.

Zbytková napětí objevující se ve většině konstrukčních materiálů ovlivňují negativně vlastnosti součásti. Nepříznivý dopad mají tyto napětí především na mechanické vlastnosti a odolnost povrchu proti korozi.

Nicméně zbytková napětí jsou v mnoha případech žádoucí a mají příznivý vliv na vlastnosti obráběné součásti. Jedná se o zbytková napětí vyvolané např. kuličkováním nebo válečkováním, kdy dochází k prodloužení životnosti součásti. Je to způsobeno vnesením tlakového napětí do povrchové vrstvy.

[18] [19]

Každá technologická operace vyvolá v určitém objemu materiálu plastickou deformaci a tepelně jej ovlivní. Právě v takovém objemu materiálu dochází k přestavbě zbytkových napětí.

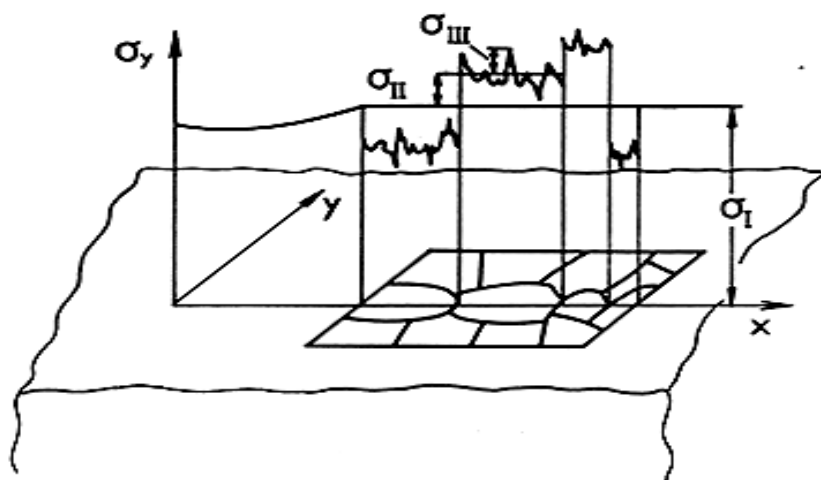
[20]

Zbytková napětí lze rozdělit podle objemu, ve kterém jsou napětí v rovnováze, na:

- Zbytková napětí I. druhu – makroskopický charakter, zasahují tedy velkou část nebo dokonce celý objem součásti. Do této skupiny patří také napětí působící v nekonečně tenké, avšak velké oblasti. Mají vliv na pevnostní a deformační vlastnosti součásti.
- Zbytková napětí II. druhu – zasahují oblast několika krystalových zrn. (mikroskopický charakter).
- Zbytková napětí III. druhu – submikroskopický charakter, to znamená, že vznikají na úrovni několika atomových vzdáleností.

U zbytkových napětí jsou důležitými údaji, které je nutné sledovat: znaménko napětí (tah nebo tlak), hloubku, do které napětí pronikají a jejich maximální hodnoty (velikosti). Tyto napětí ovlivňují statickou a dynamickou pevnost povrchu. Zbytková napětí II. a III. druhu mají vliv na korozní vlastnosti součásti.

[18] [19] [21] [22] [23]



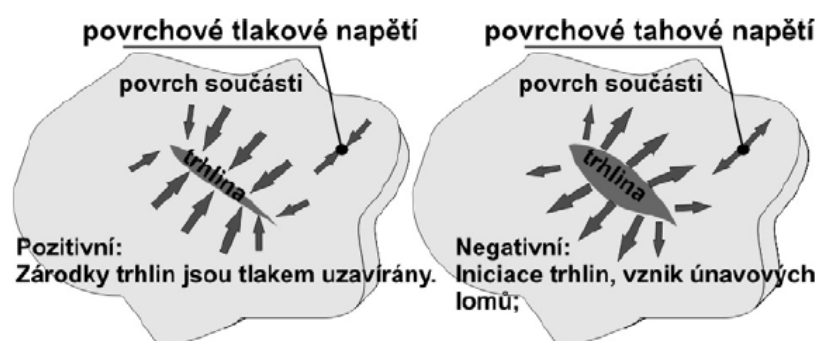
Obr. 16 - Schématické znázornění zbytkových napětí I., II. a III. druhu [24]



Zbytková napětí mohou být tahová nebo tlaková. Tahová napětí vznikají za předpokladu, že je povrch zatížen současně tepelně a mechanicky. Mohou způsobit vznik únavových lomů a trhlin, proto jsou z hlediska funkčních vlastností povrchu zcela nepřijatelné.

Naopak tlaková napětí jsou z hlediska funkčnosti povrchu součásti výhodná, důvodem je jejich tendence uzavírání zárodků trhlin. Tyto napětí vznikají, pokud při obrábění převládá plastická deformace s malým tepelným účinkem.

[25]



Obr. 17 – Vliv tlakového a tahového napětí na vznikající trhlinu [26]

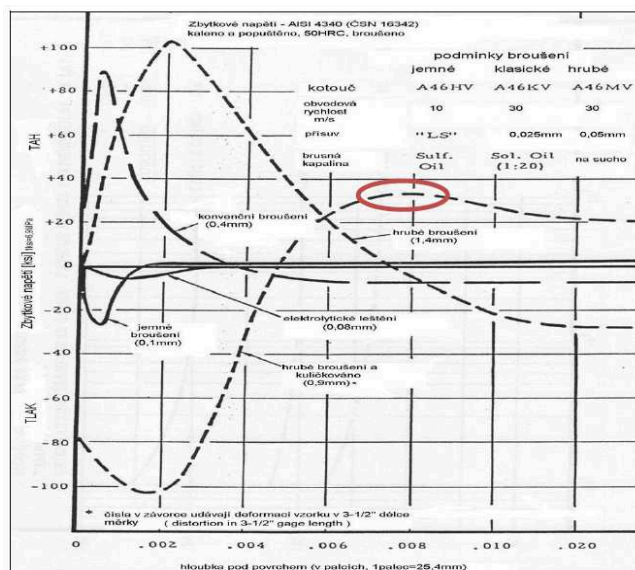
Hlavní příčinou vzniku zbytkových napětí jsou:

- nerovnoměrná plastická deformace v obrobeném povrchu,
- nerovnoměrný ohřev a ochlazování materiálu, které vyvolávají jeho roztahování a smršťování,
- nerovnoměrné změny struktury vyvolané působením tepla a mechanických sil,
- chemické procesy spojené s reakcí částic pronikajících do povrchové vrstvy.

[27]

Průběhy tahových a tlakových napětí, které vznikají po různých metodách obrábění, lze znázornit v diagramu. Na Obr. 18 jsou znázorněny tyto napětí vzniklé po jemném, konvenčním a hrubém broušení, po kterém přijde kuličkování, a jako poslední je vyobrazeno elektrolytické leštění. Z diagramu je možno vyčíst, že pokud se po broušení zařadí kuličkování, průběh napětí se znatelně změní.

Tlaková napětí vznikají nejblíže k povrchové vrstvě a následně přechází v tahové napětí. Vysoké hodnoty tahového napětí mohou způsobit poškození součásti. Proto je nutné sledovat jeho velikost v dané oblasti, která je v diagramu zvýrazněna červeně.

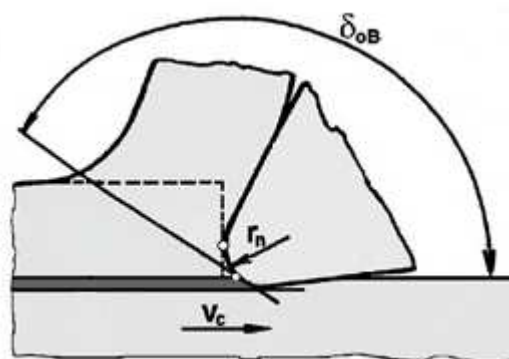


Obr. 18 – Průběh tahových a tlakových napětí po broušení [28]

### 3.3.2 Zpevnění povrchu

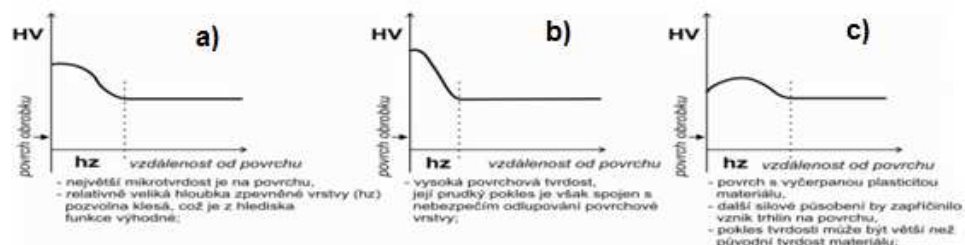
Ke zpevnění povrchové vrstvy dochází především proto, že oblast primárních plastických deformací zasahuje pod úroveň vznikajícího povrchu a také faktem, že skutečné ostří řezného nástroje není nikdy tvořeno úsečkou, nýbrž se jedná o část válcové plochy o poloměru  $r_n$ , který se pohybuje v intervalu 5 až 20  $\mu\text{m}$ . Při vzájemném působení břitu nástroje s obráběným materiálem se realizuje nejenom negativní úhel čela, ale i úhel řezu ( $\delta_{0B}$ ) a dochází k tomu, že povrchu obrobene plochy vzniká nejenom řezáním, ale také tvářením.

[29]



Obr. 19 - Vliv zaoblení ostří na povrch obrobku [29]

Kvalifikace zpevnění povrchové vrstvy se provádí prostřednictvím hodnoty mikrotvrdosti. Měření mikrotvrdosti je prováděno v jednotlivých vrstvách pod povrchem obrobené plochy. Zpevnění je tedy určeno stupněm zpevnění a hloubkou vrstvy disponující vyšší tvrdostí než základní materiál (Obr. 20).



**Obr. 20 - Charakteristické průběhy zpevnění v povrchové vrstvě [25]**

**HV – mikrotvrdost,  $l_p$  – vzdálenost od povrchu,  $h_z$  – hloubka zpevněné vrstvy**

Na Obr. 20 jsou zobrazeny různé průběhy zpevnění povrchové vrstvy. V případě Obr. 20c byl povrch plasticky deformován a plasticita materiálu byla beze zbytku vyčerpána. Následkem pokračujícího silového zatížení byl vznik trhlin. Tento fakt zapříčinil výrazný pokles tvrdosti. Pokles tvrdosti může být tak výrazný, že tvrdost vrstvy může být nižší než tvrdost původního materiálu.

Na Obr. 20b je zachycen průběh zpevnění povrchu s vysokou tvrdostí, která ale velmi rychle klesá. To může způsobit odlupování povrchové vrstvy. Je to následek slabého spojení zpevněné vrstvy a základního materiálu.

Průběh zpevnění zobrazený na Obr. 20a je velmi výhodný z hlediska funkčnosti součásti, jelikož největší mikrotvrdosti je dosaženo na povrchu a s rostoucí hloubkou pomalu klesá.

[25]

### 3.3.3 Trhliny v povrchové vrstvě

Trhliny jsou z hlediska správné funkce součásti zcela nepřijatelné a nežádoucí. Jedná se o tepelně indukovaný proces spojený s tepelným poškozením povrchu, který je obráběn.

Trhliny na povrchu obráběné součásti vzniknou uvolněním tahových zbytkových napětí, které musí překročit mez pevnosti materiálu obráběné součásti. Nicméně trhliny nemusí vzniknout vždy, když napětí překročí mez pevnosti materiálu součásti.

[19]

### 3.4 Metody výroby přesných otvorů

Požadavky kladené na vysokou rozměrovou přesnost a kvalitu povrchu otvorů se neustále zvyšují. Pro splnění všech požadavků je většinou nutné zařazení dokončovacích metod obrábění. Dokončovací metody obrábění navazují na operace hrubovací. Hrubováním je odebrána většina materiálu a ponechá se pouze přídavek na dokončovací operace. Přídavek se liší podle použité dokončovací metody.

Metodám dokončovacího obrábění je nezbytné věnovat velkou pozornost. Důvodem je, že se v převážné většině případů realizují na konci výrobního procesu součástí, resp. otvoru, do nichž již bylo vloženo značných pracovních a finančních prostředků.

Dokončovací metody můžeme rozdělit na metody s definovatelnou a nedefinovatelnou geometrií břitu.

- nástroje s definovatelnou geometrií břitu – jemné soustružení, jemné frézování, vystružování, vrtání, vyvrtávání, protahování a protlačování,
- nástroje s nedefinovatelnou geometrií břitu – broušení apod.

#### 3.4.1 Jemné soustružení

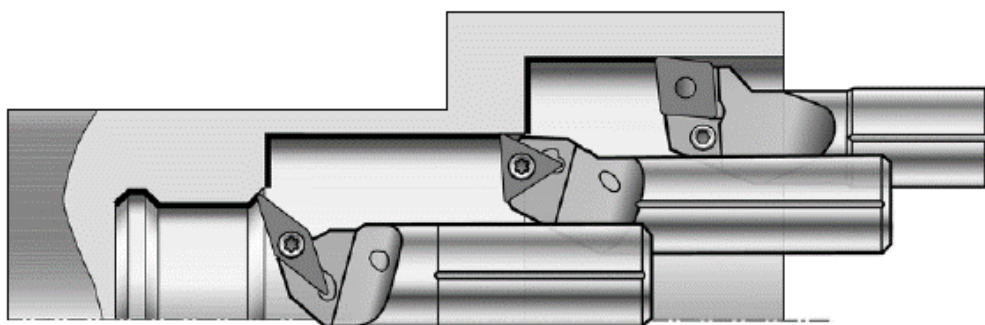
Jemné soustružení spadá do skupiny dokončovacích metod obrábění. Tímto způsobem se obrábí, když je vyžadována vysoká kvalita obrobených povrchů a přesnost rozměrů. Zařazuje se tedy u otvorů vyrobených technologiemi, kterými nelze zhotovit otvory s vysokou rozměrovou přesností a kvalitou povrchu.

U této metody obrábění koná hlavní pohyb obrobek, který rotuje. Vedlejší pohyb koná nástroj.

Při výrobě přesných otvorů jemným soustružením hrozí riziko vzniku nepříznivých vlivů. Takovými vlivy jsou vibrace, které negativně ovlivňují výsledek soustružení. Vibrace nelze zcela eliminovat a vycházejí ze vztahu mezi vyložením nástroje a průměrem obráběného otvoru. Tyto faktory zesilující náchylnost ke vzniku vibrací jsou dány rozměrem obrobku a není možné je ovlivnit. Avšak je vynakládáno velké úsilí k jejich minimalizaci.

[25] [30] [31]

U otvorů obráběných jemným soustružením je kladen velký důraz na bezproblémový odvod třísky a zároveň na udržení zatížení břitu nástroje v přijatelných mezích. Tyto požadavky splňuje tříska utvářená do tvaru jemných šroubovic. Pro správný vznik i utváření třísky, a aby nedocházelo k chvění nástroje, je důležitá volba geometrie břitu. Úhel čela  $\gamma$  se volí v rozmezí,  $5 - 10^\circ$  úhel hřbetu  $\alpha = 6 - 15^\circ$  a úhel ostří  $\lambda$  se musí pohybovat od  $0$  do  $5^\circ$ . Pro efektivnější odvod třísky z místa řezu se využívá nástrojů s vnitřním přívodem chladicí kapaliny či stlačeného vzduchu.



**Obr. 21 – Soustružení vnitřních ploch [32]**

Jemným soustružením se dosahuje drsnosti povrchu  $Ra\ 0,2\ \mu m$  a přesnosti IT 7 až IT 6. Přídavek určený pro jemné soustružení je odebrán na jeden záběr. Tento fakt činí tuto dokončovací metodu ekonomicky výhodnou.

Obrábí se vysokými řeznými rychlostmi pohybujícími se v rozmezí od  $150$  do  $1200\ m \cdot min^{-1}$ . Řezné rychlosti se mění v závislosti na materiálu řezného nástroje, který může být monolitní z rychlořezné oceli nebo s vyměnitelnými břitovými destičkami. Destičky jsou vyrobeny ze slinutého karbidu, řezné keramiky, polykrystalického nitridu boru nebo diamantu. Pokud jsou soustruženy velmi pevné a tvrdé materiály, využívá se řezných destiček s povlakem typu TiC a TiN.

Posuv se ve většině případů volí do  $0,2\ mm$ . Materiál ponechaný po hrubovací operaci neboli přídavek je  $0,2$  až  $0,5\ mm$  na průměr obráběné součásti.

Jemné soustružení je realizováno na soustruzích, které musí být dostatečně tuhé. Pokud stroj není dostatečně tuhý, vzniká chvění vedoucí ke zhoršení geometrického tvaru a kvality povrchu soustružené součásti (otvoru).

[25] [30] [31]

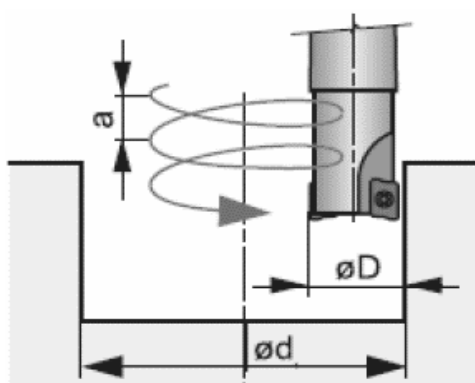
Druhy soustruhu využívaný při jemném soustružení:

- hrotové soustruhy,
- svislé soustruhy (využívají se pro soustružení otvorů u součástí velkých rozměrů, tento typ stojů se nazývá karusel),
- revolverové soustruhy,
- celní soustruhy (pro obrábění deskových součástí),
- CNC obráběcí centra.

[25] [30] [31]

### 3.4.2 Jemné frézování

U jemného frézování výsledný pohyb představuje cykloidu. Tento pohyb vznikne spojením pohybu hlavního a vedlejšího. Hlavní pohyb koná nástroj, který se otáčí. Vedlejším pohybem je pohyb posuvný a koná ho stůl. Značnou nevýhodou frézování je přerušovaný záběr nástroje, respektive jednotlivých zubů. Dochází k výkyvům řezných tlaků, k nepravidelnému zatěžování stoje a roste náchylnost ke vzniku chvění, které negativně ovlivňuje kvalitu obrobeneho povrchu. Je tedy nutné, aby soustava S-N-O byla dostatečně tuhá.



Obr. 22 - Frézování vnitřní válcové plochy spirálovou interpolací [33]

Při jemném frézování není kvalita obrobeneho povrchu ovlivněna pouze tuhostí soustavy.

[25] [30] [31]

Kvalita povrchu závisí také na vlastnostech obráběného materiálu, geometrii a materiálu řezného nástroje a podmínkách řezání. Pokud jsou tyto faktory ovlivňující kvalitu povrchu pod kontrolou a upravovány, je možné touto dokončovací metodou dosáhnout vysoké přesnosti tvaru, jakosti povrchu. Parametr Ra se pohybuje v rozmezí od 0,4 do 1,6  $\mu\text{m}$  a třída přesnosti IT 7 až IT 8.

Pro dosažení vysoké kvality obrobeného povrchu frézujeme tak, aby v záběru byl pouze jeden břit nástroje. Tuto podmínku splňují frézovací hlavy s jedním nožem, či vyměnitelnou břitovou destičkou, které jsou vyrobeny z SK (slinutý karbid) nebo z PKNB (polykrystalický kubický nitrid boru). Pro výkonnější frézování se využívají frézovací hlavy s více břity, avšak následný povrch nedosahuje takové kvality jako u jednobřitých frézovacích hlav.

Při frézování jsou podmínky chlazení lepší a tepelné ovlivnění vzniklého povrchu je menší než u ostatních metod třískového obrábění. U frézování neželezných kovů a litin se chladicího media nevyužívá. U ostatních materiálů se využívá chladicí a mazací emulze, které jsou využity především u hrubovacích operací. U dokončování otvorů se využívá jen zřídka. Je to dáno tím, že dochází k úběru určitého objemu materiálu jednotlivým řezným nástrojem (zubem frézy), který odebírá třísku pouze na určité dráze, poté úběr končí a jede naprázdno.

Při jemném frézování se otvory dokončují při vysokých řezných rychlostech pohybujících se od 120 až 240  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Posuv se liší podle konkrétního případu. Obecně dosahují hodnot 1,5 až 5 mm. Hloubka řezu je 0,03 až 0,5 mm.

Jemné frézování je realizováno na strojích s vysokou tuhostí, vysokými otáčkami pracovního vřetena a musí být staticky a dynamicky vyváženy, aby nedošlo ke vzniku chvění.

[25] [30] [31]

### 3.4.3 Vrtání

Vrtání je nejčastěji využívanou metodou pro výrobu otvorů. Tato metoda je ve většině případů brána a využívána pouze jako operace určená k hrubování otvorů.

[34] [35] [36] [37]

Nicméně neustálý rozvoj metody a především vývoj řezných materiálů a nástrojů zapříčinily, že se tato metoda využívá pro výrobu přesných otvorů.

Nástrojem je vrták, který zpravidla koná hlavní rotační i vedlejší posuvový pohyb. Výjimku tvoří vrtání realizované na soustruzích, kde hlavní pohyb koná obrobek a posuv vykonává nástroj.

Pro dosažení přesnosti a kvality povrchu odpovídající přesným otvorům musí být vrtání realizováno monolitickými vrtáky ze slinutých karbidů. Při použití těchto vrtáků dosahujeme vyšší produktivity a přesnosti při vrtání otvorů na rozdíl od vrtáků odlišujících se konstrukcí a řezným materiálem.

Monolitické vrtáky z karbidu wolframu jsou vyráběny jako dvou nebo tříbřité s drážkami přímými nebo ve šroubovici. U monolitických vrtáků je chlazení místa řezu velmi důležité. Pouze s dostatečným chlazením dosáhneme optimální trvanlivosti a plně využijeme potenciálu, který tento typ nástroje nabízí. Pro přívod chladícího média do místa řezu jsou tyto vrtáky opatřeny vnitřními kanálky. Vnitřní chlazení u tohoto typu vrtáků je výrazně efektivnější než klasické vnější chlazení. Důležitou roli zaujímají otěruvzdorné povlaky, které zvyšují nejen životnost nástroje, ale také přesnost a kvalitu povrchu obrobeného otvoru.

Porovnáme-li vrtáky RO s těmi ze slinutých karbidů, dojdeme k výsledku, že při vysokých řezných podmínkách mají vrtáky SK vyšší trvanlivost, i přesnost otvorů je vyšší.

Vlivem vyšších řezných rychlostí při vrtání je částečně eliminována možnost vzniku nárůstků na břitu, výsledkem je kvalitnější povrch otvorů. S vysokou řeznou rychlostí se také zkracuje čas potřebný pro výrobu otvoru, tím se snižuje množství vzniklého tepla v místě řezu a opotřebení nástroje, klesají i náklady na operaci.

Tento rozdíl obou řezných materiálů se ještě více prohlubuje, pokud jsou opatřeny povlakem. Výrobci uvádí, že u vrtáků ze slinutých karbidů s povlakem TiN vzroste řezná rychlost třikrát, posuv se zvýší asi o třetinu a trvanlivost nástroje bude třikrát vyšší než u vrtáků z RO opatřenými stejným povlakem.

Monolitické vrtáky SK mají v porovnání s vrtáky RO a s vrtáky s pájenými destičkami SK větší tuhost, čímž klesá tendence ke vzniku chvění, které nepříznivě ovlivňuje kvalitu povrchu.



Dalším faktorem ovlivňující přesnost otvorů je konstrukce nástrojů. Přesnějších otvorů dosáhneme použitím vrtáků SK s přímými drážkami než s vrtáky se šroubovými drážkami.

Využití všech předností monolitických vrtáků SK a dosažení vysoké přesnosti a kvality povrchu otvoru klade vysoké nároky na stroje určených pro vrtání, především na jeho přesnost, výkon, velikost rozsahu otáček včetně a posuvů, tuhost a kvalitu chladicího systému.

Dodržením všech zásad pro vrtání je možné při vrtání do plna tříbřitým vrtákem SK zhotovit otvory s přesností IT 7 a drsností povrchu Ra do 0,8  $\mu\text{m}$ , to odpovídá kvalitě běžně dosahované vystružováním.

[34] [35] [36] [37]

#### **3.4.4 Vyvrtávání**

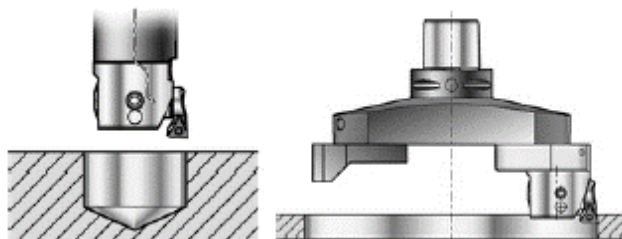
Vyvrtávání - metoda využitelná pro dokončování i hrubování. Slouží pro zvětšení nebo zvýšení kvality povrchu předhotovených otvorů. Obrábí se rotační plochy s geometrickým tvarem válce, kužele, čelního mezikruží nebo rotační tvarové plochy. Vyvrtáváním lze obrábět i kombinace zmíněných tvarových prvků usprádaných na jedné nebo více osách v rovině nebo prostoru.

Hlavní řezný pohyb koná nástroj, který rotuje. Vedlejší pohyb koná nástroj nebo obrobek posouvající se ve směru rotace nástroje. Vyvrtávání je realizováno vyvrtávacími noži upnutými do vyvrtávací tyče nebo hlavy.

Velkou výhodou vyvrtávání je na rozdíl od vystružování možnost využití jednoho nástroje na obrábění různých průměrů otvorů. Pro dodržení přesnosti rozměrů je velmi důležité seřízení nástroje na požadovaný rozměr. Seřízení je prováděno strojně nebo ručně, to však vyžaduje zkušeného pracovníka. Strojně se seřizuje na jedno nebo vícesouřadnicových strojích.

Jemným vyvrtáváním se většinou obrábí otvory od průměru 15 mm. Otvory do průměru 500 mm se zhotovují vyvrtávacími hlavami. Vyvrtávací nože jsou vyrobeny z rychlořezné oceli, slinutých karbidů, řezné keramiky, PKNB a PKD.

[31] [39] [40] [41] [42] [43]



**Obr. 23 – Vyvrtávání otvorů [38]**

Řezné rychlosti se u této metody pohybují v rozmezí od 250 do 350 m·min<sup>-1</sup>. Posuvy se pohybují od 0,02 do 0,12 mm. Přídavky na vystružování se pohybují od 0,3 do 0,6 mm na průměr a jsou odebírány ve 2 až 4 záběrech. Hloubka řezu je malá, od 0,1 do 0,5 mm.

Otvory zhotovené vyvrtáváním dosahují stupně přesnosti IT 4 až IT 5. Hodnoty drsnosti povrchu Ra jsou v rozmezí od 0,1 μm do 0,7 μm. Pokud je použit nástroj z diamantu, lze dosáhnout drsnosti povrchu 0,025 μm.

[31] [39] [40] [41] [42] [43]

### **3.4.5 Broušení**

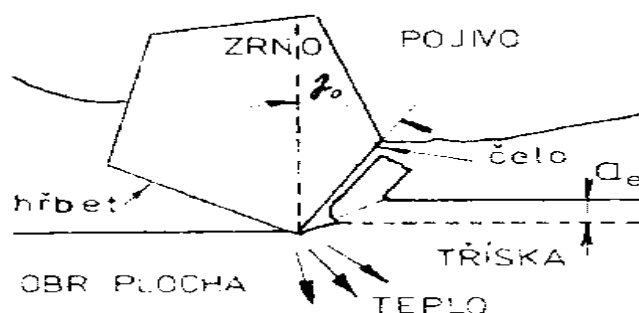
Broušení je jednou z nejvíce využívaných dokončovacích operací. U této metody dochází k úběru materiálu mnohobřitým nástrojem s nedefinovatelnou geometrií břitu. Břity nástroje tvoří jednotlivá, geometricky odlišná zrna, která jsou různě rozmístěna. Následkem toho dochází k odřezávání materiálu v podobě různorodých třísek. Nástrojem je brusný kotouč vyrobený litím nebo lisováním směsi z brusných zrn a pojiva. Úhel čela jednotlivých zrn je záporný a velmi často bývá velký. Tento fakt výrazně ovlivňuje oblast primárních plastických deformací.

Tato metoda je z hlediska využitelnosti velmi univerzální. Používá se pro dokončování rovinných, rotačních tvarů, vnitřních a vnějších tvarových ploch kovových či nekovových součástí. Také umožňuje hospodárné obrábění kalených ocelí.

Broušeny jsou součásti s vysokými nároky na přesnost rozměrů a kvalitu povrchu. Dosahovaná přesnost a kvalita povrchu je ovlivněna použitým druhem broušení. Pokud je otvor broušený načisto získáme povrch s přesností od IT 5 až IT 7 a drsností Ra 0,4 do 1,6 μm.

[44] [45] [46] [47] [48] [49]

Při jemném broušení se dosahuje přesnosti IT 3 až IT 6 a drsnosti Ra 0,05 až 0,4  $\mu\text{m}$ . Kvalita a přesnost získaného povrchu je také ovlivněna velikostí zrna (zrnitost), jejich tvrdostí a koncentrací.



Obr. 24 – Brusné zrno – břit [47]

Spojení vysoké řezné rychlosti (30 až 100  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a negativního úhlu čela zrn způsobuje vznik vysokých teplot. Odřezávaný materiál v podobě třísky mající malý průřez, ve většině případů se pohybuje v řádech tisícín čtverečných milimetrů, se zahřívá na teploty až 1500  $^{\circ}\text{C}$ . Takto vysoká teplota způsobí roztavení a shoření některých třísek.

Značné množství, až 80%, vzniklého tepla přechází do povrchové vrstvy obráběného materiálu a negativně ovlivňuje její vlastnosti. Je to způsobeno velkým zbytkovým napětím, především tahovým, dosahující hodnot od 500 do 2000 MPa. Tahová napětí podporují vznik a šíření povrchových trhlin. Velikost zbytkového napětí roste přímo úměrně s teplem vznikajícím při broušení. Pro omezení negativního dopadu vytvořeného tepla na vlastnosti povrchu součásti je nutné intenzivní chlazení obrobku a nástroje (brusný kotouč).

[44] [45] [46] [47] [48] [49]

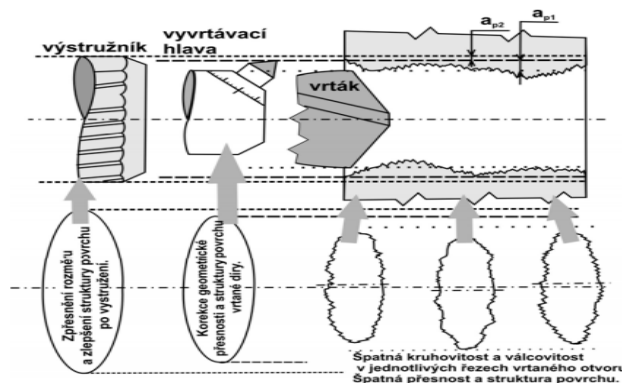
### 3.4.6 Vystružování

Vystružování je operace, které předchází operace hrubovací. Těmito hrubovacími operacemi dosáhneme požadovaných parametrů, které jsou vystružováním velmi obtížně ovlivnitelné. Je to rovnoběžnost, kolmost a souosost.

Jedná se tedy o metodu dokončovací, při které se odebírá materiál ponechaný po hrubovacích operacích ve formě přídatku.

[25] [30] [42] [43] [50] [51]

Pomocí této přesné dokončovací metody obrábění dosahujeme otvorů se stupněm přesnosti IT 7 až IT 8 při drsnost povrchu Ra 0,4 až 0,8 μm, při obrábění s jednobřítými výstružníky získáme povrch s drsností Ra 0,1 až 0,20 μm. S moderními nástroji z cermetu a PKD lze zhotovit otvor s přesností IT 5 až IT 6 a hodnotou Ra od 0,2 do 0,4 μm.



Obr. 25 – Sled operací vedoucí ke zvýšení parametrů kvality otvoru [26]

Hlavním řezným pohybem je pohyb rotační a vedlejším pohybem je pohyb přímočarý. Oba pohyby vykonává nástroj a obrobek je pevně upnut na pracovním stole stroje. Jedinou výjimkou je vystružování na soustruhu, kde hlavní řezný pohyb koná obrobek a pohyb posuvový koná nástroj.

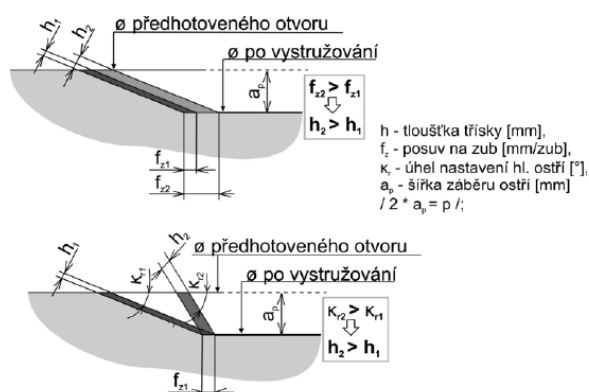
Stanovení vhodného přídávku pro vystružování ( $p$ ) je velmi důležité a musí se tomu věnovat velká pozornost, jelikož ovlivňuje dosahovanou kvalitu zhotoveného otvoru. Při určování přídávku musíme zohledňovat několik kritérií jako je požadovaná kvalita otvoru po obrobení, obráběný materiál, konstrukce a materiál řezného nástroje. Příliš malá velikost přídávku způsobí, že místo toho, aby byl materiál odřezáván, dochází pouze k jeho tváření. Následkem toho neúnosně roste opotřebení nástroje a zhotovený otvor nebude vyhovovat požadované kruhovitosti a kvalitě povrchu. Doporučená velikost přídávku se pohybuje od 0,1 do 0,4 mm. Pokud jsou využity nástroje s jedním břitem, volí se velikost přídávku až 0,8 mm. V technické praxi slouží pro stanovení velikosti přídávku vystružovaných otvorů vztah 3.3.

$$p = 0,1 + 0,005 \cdot D \text{ [mm]} \quad (3.3)$$

$D$  – jmenovitý průměr vystružovaného otvoru [mm]

[25] [30] [42] [43] [50] [51]

Pro dosažení požadovaných parametrů zhotoveného otvoru je kromě vhodně zvolené velikosti přídavku nutné určit minimální tloušťku třísky  $h_{\min}$ . Při nedodržení minimální tloušťky třísky nedochází k odřezávání materiálu, jelikož ostří výstružníku neproniká do materiálu, ale dochází pouze k jeho elastické a plastické deformaci. Velikost tloušťky třísky je ovlivňována velikostí pracovního posuvu a nastavením hlavního ostří  $K_{\alpha}$  (Obr. 26).



Obr. 26 - Vztah velikosti posuvu a úhlu nastavení hl. ostří na tloušťku třísky [50]

Odebírání materiálu v podobě třísky je realizováno pomocí nástroje nazývaného výstružník. Jedná se o nástroj s jedním nebo více břity. Výstružníky s jedním břittem se používají pro zhotovení velmi přesných otvorů.

Požadavek obrábět s minimálními náklady a vysokou efektivitou, přitom vyhovět neustále se zvyšujícím nárokům na obráběné otvory, tlačí výrobce vynakládat velké úsilí a nemalé finanční prostředky na neustálý vývoj řezných nástrojů, výjimkou nejsou ani výstružníky. Výsledkem vývoje nástrojových materiálů a povlaků jimi opatřených je při zařazení vystružování do výrobního procesu odbourání nákladnějších dokončovacích metod obrábění, jako je např. broušení.

V Česku se vývojem a výrobou zabývá firma HAM- FINAL nabízející výstružníky s břity s PKD a KNB.

[25] [30] [42] [43] [50] [51]

Výstružníky lze rozdělit podle různých kritérií:

Podle tvaru řezných částí:

- tvarové,
- válcové,
- kuželové.

Podle konstrukce:

- pevné,
  - monolitní,
  - s mechanicky upínanými vyměnitelnými břitovými destičkami,
  - s pájenými vyměnitelnými břitovými destičkami.
- stavitelné,
- rozpínací.

Podle způsobu práce:

- ruční,
- strojní.

Podle způsobu upínání:

- stopkové,
  - s kuželovou stopkou,
  - s válcovou stopkou,
- nástrčné.

[25] [50]

Pro splnění vysokých nároků na geometrickou přesnost a kvalitu povrchu vyrobených otvorů je důležitá také volba řezné rychlosti a posuvu. Řezná rychlost se při vystružování pohybuje od 2 do 60 m·min<sup>-1</sup> a posuv je volen od 0,15 do 0,2 mm. Oba parametry se mění v závislosti na obráběném a řezném materiálu, způsobu a intenzitě chlazení, a na stroji, resp. možnostech stroje. Je možné je volit podle předešlých zkušeností nebo dát na doporučení od výrobce nástrojů.

[25] [52]

## 4 HLINÍK

Hliník je materiálem s nejvyšší produkcí spadající do skupiny neželezných kovů a základní surovinou pro jeho výrobu je bauxit. V porovnání s ostatními neželeznými kovy je doba využívání hliníku a jeho slitin jako konstrukčního materiálu velmi krátká. Hliník je ceněný především pro vysokou měrnou tepelnou kapacitu, dobrou tepelnou i elektrickou vodivost a dobrou tvárnost za studena i tepla.

[53] [54]

### 4.1 Vlastnosti hliníku

V důsledku uspořádání iontů do kubické plošně centrované mřížky K12 jsou pro hliník i jeho slitiny charakteristické výborné plastické vlastnosti za tepla i studena.

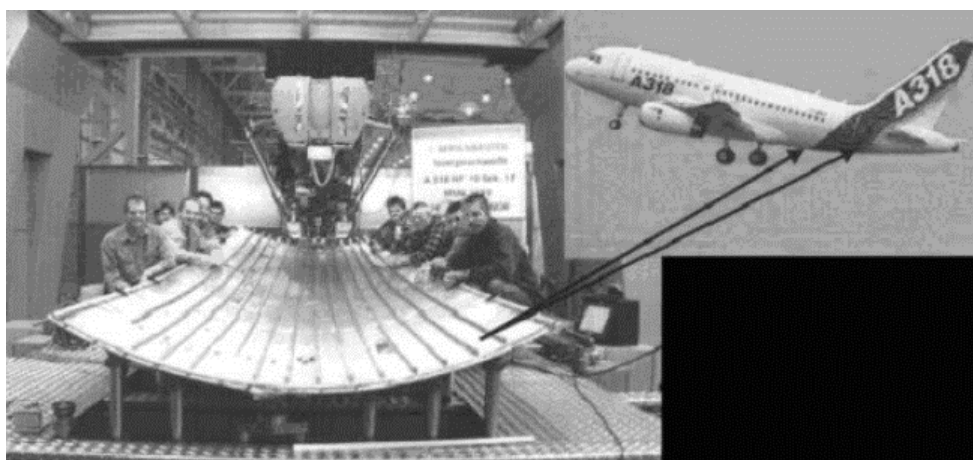
Tabulka 3 – Výběr fyzikálních vlastností hliníku [53]

Vlastnosti	Hodnoty
Mřížka	K12
Parametr mřížky	0,404958 nm
Hustota	2,6989 g·cm <sup>-3</sup> (při 20 °C)
Teplota tavení	660,4 °C
Teplota varu	2494 °C
Tepelná vodivost 247 W·m <sup>-1</sup> (při 25 °C)	247 W·m <sup>-1</sup> (při 25 °C)
Elektrická vodivost	62 % (Al 99,8) 65 – 66 % (Al 99,999+)
Latentní teplo tavení	397 kJ·kg <sup>-1</sup>
Latentní teplo varu	10,78 MJ·kg <sup>-1</sup>
Atomová hmotnost	26,98154
Objemová změna při krystalizaci	6,5 %
Specifické teplo	0,900 kJ/kg·K (při 25 °C) 1,18 kJ/kg·K (při 660,4 °C)
Spalné teplo	31,05 MJ·kg <sup>-1</sup>
Elektrický odpor	26,2 nΩ·m (Al 99,999+ při 20 °C) 26,55 nΩ·m (Al 99,8 při 20 °C)
Teplota supravodivosti	1,2 K

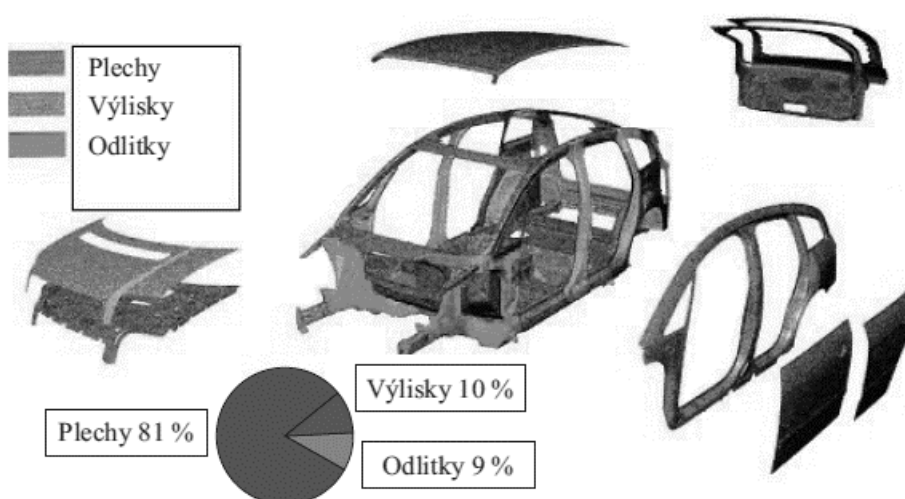
## 5 SLITINY HLINÍKU

V důsledku nepříznivých mechanických a technologických vlastností se čistý hliník pro konstrukční účely používá výjimečně. Pro tento účel jsou využívány slitiny hliníku, které vzniknou přidáním vhodných legujících prvků. Výsledkem jsou velmi výhodné vlastnosti, kvůli kterým jsou rozšířeny nejenom v oblastech průmyslu, ale i v každodenním životě každého z nás v podobě různých výrobků. Pro dosažení požadovaných vlastností slitin je velmi důležité množství a kombinace přidaných prvků.

Dnes se využití hliníku, ale především jeho slitin, neustále zvyšuje. Tento trend je nejvíce patrný v leteckém a automobilovém průmyslu.



Obr. 27 – Využití slitin hliníku v leteckém průmyslu [53]



Obr. 28 – Využití slitin hliníku u vozu Audi 100 [53]

[53] [55]



Slitiny hliníku disponují řadou vlastností, které je předurčují k využití prakticky ve všech oblastech lidské činnosti. Těmi nejdůležitějšími jsou:

- dobré mechanické vlastnosti za nízkých teplot (absence tranzitního chování),
- dobrá tepelná vodivost,
- korozní odolnost (zapříčiněná vznikem ochranné vrstvy  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tloušťky 5-20 nm),
- nízká hmotnost,
- dobrá tvářitelnost (za studena i za tepla).

[53]

## 5.1 Vliv legujících prvků na vlastnosti slitin hliníku

Vlastnosti slitin se mění v závislosti na použitých legujících prvcích. Nejpoužívanějšími legujícími prvky jsou mangan, hořčík, měď, křemík, železo a zinek. Pokud je legujícím prvkem měď roste pevnost a zlepšuje se obrobitelnost. Pozitivní vliv na obrobitelnost má také hořčík, mangan, zinek a chrom. Naopak negativně na obrobitelnost působí křemík, který však zlepšuje slévateľnost a zvyšuje odolnost proti korozi.

Dalším prvkem pozitivně ovlivňující slévateľnost je zinek, který také zvyšuje pevnost. Pokud požadujeme zvýšenou pevnost a tvrdost legujeme železem.

[53] [54] [29]

## 5.2 Rozdělení slitin hliníku

Slitiny hliníku rozděluje dle různých kritérií do několika skupin. Jedním z kritérií je chemické složení slitin. Dalším je schopnost slitin tepelného zpracování. Hliníkové slitiny lze také rozdělit z hlediska obrobitelnosti a podle označení.

[53] [54]

### 5.2.1 Rozdělení podle chemického složení

Slitiny hliníku podle chemického složení rozdělujeme na základě hlavních přísadových prvků, které zásadně ovlivňují vlastnosti slitin. Tyto prvky jsou ve slitině zastoupeny nejvíce hned po základním prvku (hliník).

Rozdělení:

- Slitiny Al – Si           siluminy
- Slitiny Al – Mg           hydronalium
- Slitiny Al – Cu           duralaluminium

[54]

## **5.2.2 Rozdělení podle tepelného zpracování**

- Nevytvrditelné
- Vytvrditelné

### **5.2.2.1 Nevytvrditelné slitiny**

Nejdůležitějšími slitinami patřící do této skupiny jsou Al – Si, Al – Mn. U těchto typů slitiny není možné dosáhnout vyšší pevnosti vytvrzováním (precipitační zpevnění). Vyšší pevnosti docílíme tvářením za studena, kdy je krystalová mřížka a jednotlivé krystaly deformovány. V důsledku toho vznikají v mřížce poruchy a napětí, která snižují pohyb dislokací, a tím dochází ke zvýšení pevnosti slitiny. Dalším způsobem, jak zvýšit pevnost, je substituční zpevnění tuhého roztoku.

[56] [57]

### **5.2.2.2 Vytvrditelné slitiny**

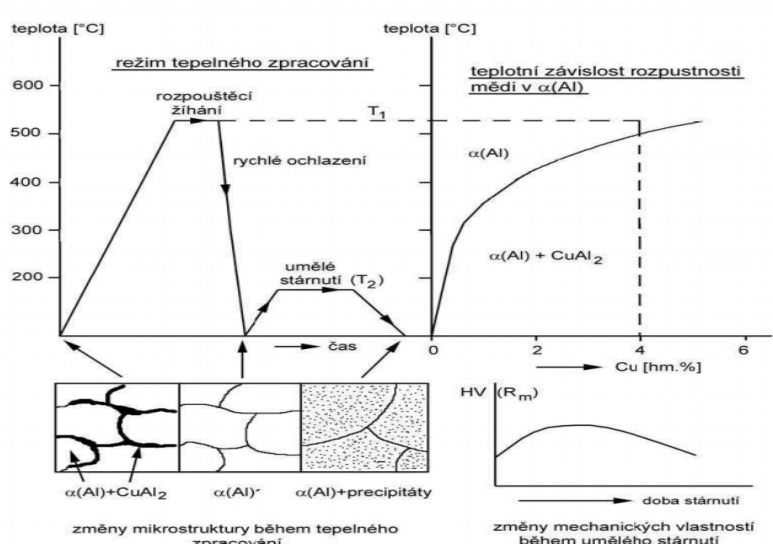
Pro vytvrzení tohoto typu slitin je nutná přítomnost prvků Mg nebo Cu. Přítomnost Mg či Cu umožňuje vznik  $Al_2MgCu$ ,  $Mg_2Si$ . Pro vytvrzení slitin je důležité, aby rozpustnost legujících prvků v závislosti na teplotě, byla výrazná. Navíc je nutná možnost rychlého ochlazení slitiny, tím dojde k vyvolání zrodu nerovnovážného tuhého roztoku. Tento proces se nazývá přechlazení slitiny.

Po tepelném zpracování se zvyšuje pevnost, avšak zároveň s tím dochází k poklesu tažnosti.

[56] [57] [58]

Etapy vytvrzování:

- rozpouštěcí žíhání,
- rychlé ochlazení,
- vytvrzení (stárnutí).



Obr. 29 - Tepelné zpracování [59]

### **Rozpouštěcí žíhání**

Rozpouštěcí žíhání slouží jako příprava před následným rychlým ochlazením. Provádí se při teplotě pohybující se mezi 450 °C a 500 °C. Následuje dostatečná výdrž na této teplotě, aby mohlo dojít k rozpuštění přísady v tuhém roztoku hliníku. Velmi důležité je, aby nebyla překročena teplota solidu. Při překročení této teploty dochází k natavení hranic zrn a jejich hrubnutí. Důsledkem je výrazné snížení mechanických vlastností slitiny.

### **Rychlé ochlazení**

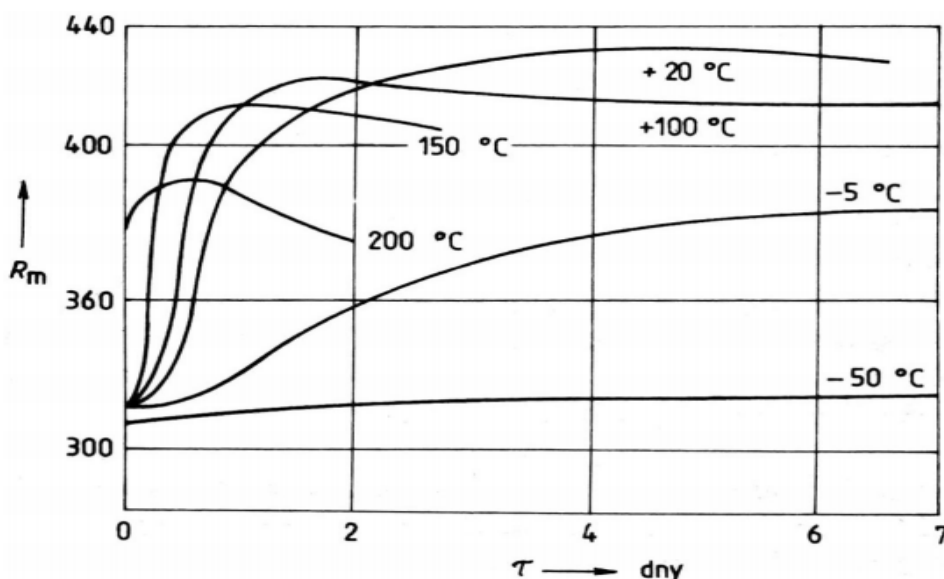
Záměrem je vznik přesyceného tuhého roztoku. Ochlazení musí být velmi rychlé, proto se využívá studená voda jako chladicí médium. Důležitou roli zde hraje rychlost manipulace se slitinou. Při nedostatečně rychlé manipulaci by došlo k částečnému rozpadu tuhého roztoku hliníku.

[56] [58] [60] [61]

### Vytvrzení (stárnutí)

Vytvrzování, také velmi často nazývané stárnutí, je proces, kdy dochází k rozpadu přesyceného roztoku. Pokud proces probíhá při teplotě okolí, nazýváme ho vytvrzení za studena (přirozené stárnutí). V případě, že probíhá při zvýšené teplotě (140 – 180 °C), nazýváme ho vytvrzení za tepla (umělé stárnutí). Jedná se o difúzní proces, na jehož počátku je nukleace a vznik koherentních precipitátů označovaných jako Guinier – Prestonovy zóny. Tyto zóny způsobují deformaci mřížky a podněcují v ní vznik pnutí, to vede k růstu pevnosti a tvrdosti slitiny. Dlouhá doba vytvrzování či jeho vysoká teplota vede k přestárnutí slitiny. Při tomto stavu se snižuje pevnost a tvrdost slitiny.

[53] [54] [56] [58]



Obr. 30 - Stárnutí při odlišných teplotách [62]

Rozdělení z hlediska obrobitelnosti

- Slitiny tvářené
- Slitiny slévárenské
- Slitiny automatové

[53]

### 5.2.2.3 Slitiny tvářené

Převážná část tvářených slitin má výborné charakteristiky obrábění. Při obrábění těchto slitin je nutné věnovat pozornost volbě parametrů obrábění a geometrii řezných nástrojů.

### 5.2.2.4 Slitiny slévárenské

Obrábění slévárenských slitin je bezproblémové a jejich obrobiteľnost je dobrá, obdobná jako u slitin tvářených. Je to dáno především hlavními prvky, kterými jsou tyto slitiny legovány, jako jsou měď, hořčík či zinek.

Slévárenské slitiny, u kterých je křemík hlavním legujícím prvkem, se obrábění stává problematickým. To lze eliminovat vhodnou úpravou řezných podmínek, především snížením rychlosti a posuvů. S rostoucím obsahem křemíku klesá životnost řezných nástrojů.

### 5.2.2.5 Slitiny automatové

Automatové slitiny jsou určeny speciálně pro obrábění. Jsou legovány prvky, které zajišťují vytvoření vhodných podmínek pro vznik třísky, která je drobná a snadno se láme.

Tyto prvky mají nízkou teplotu tavení. Jsou to například Pb, Bi, Cd a Sb. Automatové slitiny je možné obrábět vysokými řeznými rychlostmi, avšak opotřebení nástrojů je malé.

[53] [54]

## 5.2.3 Rozdělení podle značení

- řada 1000 - hliník minimálně 99,00 % a více,
- řada 2000 - slitina Al-Cu (nejznámější AlCu4Mg1 dural),
- řada 3000 - slitina Al-Mn,
- řada 4000 - slitina Al-Si,
- řada 5000 - slitina Al-Mg,
- řada 6000 - slitina Al-Mg-Si,
- řada 7000 - slitina Al-Zn,
- řada 8000 - slitina Al s různými prvky.

[53]

## 6 PROBLEMATIKA OBRÁBĚNÍ HLINÍKOVÝCH SLITIN

Využití komponentů vyrobených třískovým obráběním z hliníkových odlitků neustále roste. Tento trend je patrný především v automobilovém a leteckém průmyslu. S rostoucím objemem výroby součástí z hliníku a jeho slitin se také zvyšuje snaha výrobců o efektivní obrábění těchto součástí s minimálním dopadem na životní prostředí.

[55]

### 6.1 Obrábění slitin hliníku

Pro získání obrobeného povrchu s požadovanou jakostí a přesností rozměrů při vysoké produktivitě obrábění je nutné optimální nastavení pracovních podmínek měnící se v závislosti na použité technologii, nástroji a obráběném materiálu.

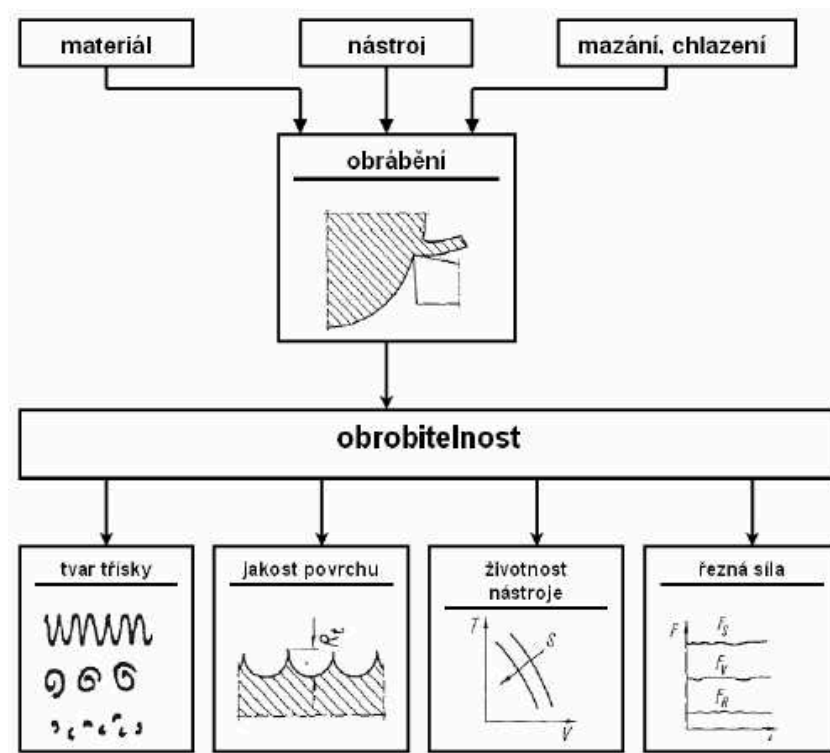
Na obrábění slitin hliníku je nutné nahlížet zcela odlišně než na obrábění železných materiálů. Největší rozdíl je v nastavení optimálních řezných podmínek, které se u obrábění hliníkových slitin značně liší. Hliník a jeho slitiny hliníku lze obrábět vysokými řeznými rychlostmi, zatímco teploty v místě řezu dosahují nízkých hodnot.

### 6.2 Obrobitelnost

Pro obrobitelnost neexistuje žádné značení (písemné či číselné), které by tento pojem zcela jasně vymezilo. Proto jej nelze zcela jasně definovat. Jedná se vždy o vzájemné působení materiálu, nástroje a vnějšího okolí.

Obrobitelnost zahrnuje soubor vlastností a parametrů jako jsou, např. dodržení přesnosti obrobené součásti, životnost nástroje, struktura povrchu. Velmi důležitým parametrem je také tvar třísky. Svou roli zde hraje i technický stav vybavení použitého při obrábění a tuhost stroje.

[53] [63] [64]



Obr. 31 – Parametry popisující obrobitelnost [53]

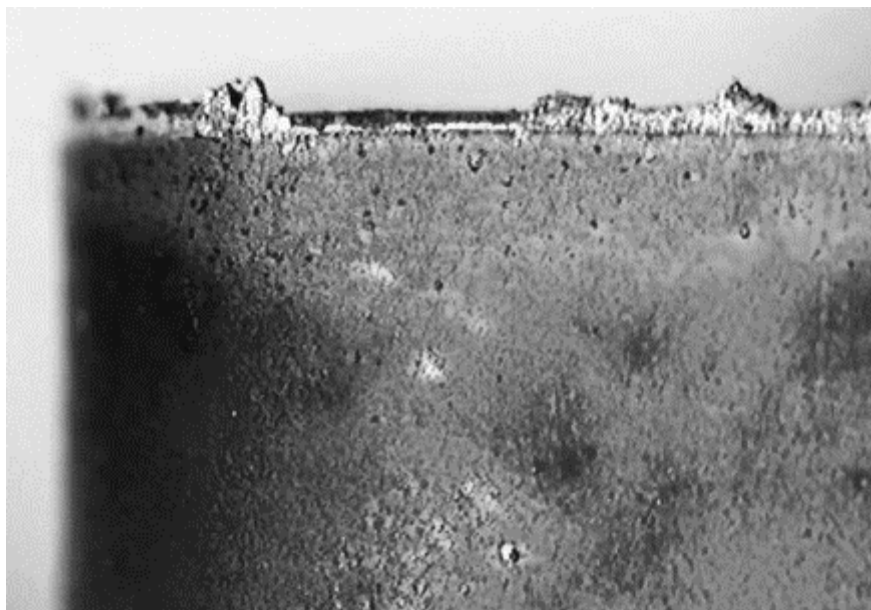
### 6.2.1 Obrobitelnost hliníku a slitin hliníku

Zatímco čistý hliník je i přes své nízké mechanické vlastnosti velmi obtížně obrobitelný, jeho slitiny naopak řadíme do skupiny velmi dobře obrobitelných materiálů. Tento rozdíl v obrobitelnosti je dán především jejich strukturou.

Při obrábění zasucha je z hlediska obrobitelnosti problémovým nejenom čistý hliník, ale také jeho slitiny. Jednou z vlastností, kvůli které se hliník a jeho slitiny stávají při obrábění zasucha problematickými, je vysoká tepelná vodivost. Důsledkem je odvod značné části tepla z místa řezu do obrobku, což společně s vysokou tepelnou roztažností způsobuje tepelné deformace obrobku.

Nízká teplota tavení hliníku – maximálně 650 °C – způsobuje problémy s odvodem a nalepováním třísky na břit, případně na čelo nástroje ve formě nárůstku.

[30] [53] [55] [65] [67] [64] [66]



**Obr. 32 – Opatřebení nástroje - nárůstek [67]**

U operací jako je vrtání, vystružování a řezání závitů se hliník a jeho slitiny dochází k zhoršení jejich obrobitelnosti. Příčinou je vysoká náchylnost hliníku a jeho slitin k adhezi na břit nástroje. Vlivem adheze ulpívá obráběný materiál ve formě třísky na břit a dochází k jeho nahromadění v prostoru zubových mezer a drážek nástroje. Tyto jevy lze částečně eliminovat použitím nástroje s ochrannou vrstvou snižující adhezi či použitím mazání mlhou.

### **6.2.2 Hodnocení obrobitelnosti hliníku a jeho slitin**

Pro klasifikaci obrobitelnosti hliníku a jeho slitin se používá způsob založený na vyhodnocení parametrů, jako kvalita povrchu po obrobení, životnost nástroje a tvar třísky.

Nejdůležitějším parametrem při hodnocení obrobitelnosti je tvar třísky a vyhodnocuje se vizuálně. Na základě tvaru jsou třísky rozděleny do pěti skupin označených písmeny A až E.

[53] [30] [55] [65] [67] [64] [66]



Popis jednotlivých skupin:

A – velmi malá a lámavá tříška v podobě šupin, dobře obrobitelná slitina, výborný obrobený povrch

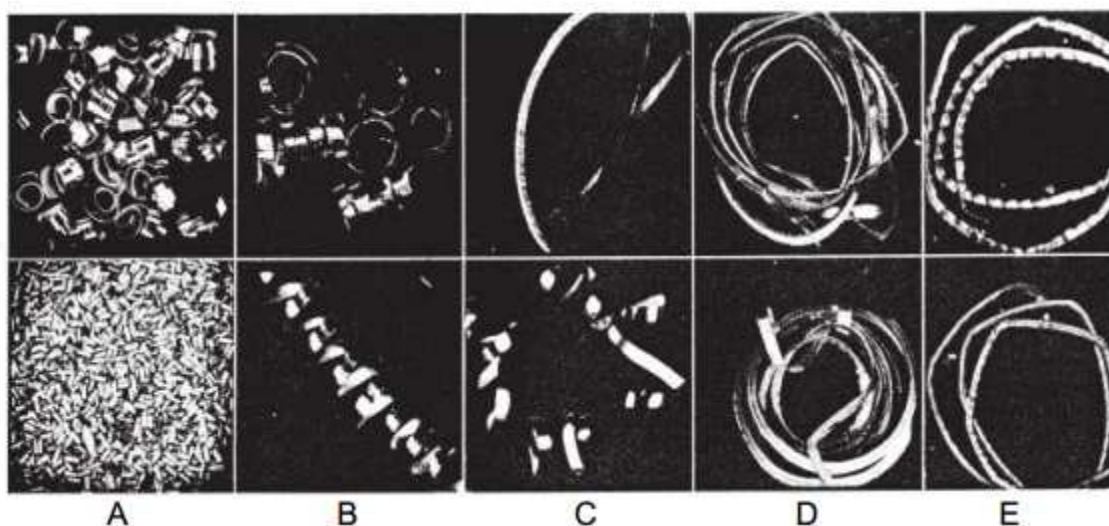
B – tříška ve formě svitků nebo dobře lámavých šupin, dobrý nebo výtečný povrch

C – plynulá tříška, dobrý obrobený povrch

D – plynulá tříška, dostatečná kvalita povrchu

E – neuspokojivá tříška, nevyhovující povrchu, pro získání lepší třísky a jakosti povrchu je nezbytná úprava podmínek obrábění.

[53]



Obr. 33 - Typické třísky rozdělené do skupin podle tvaru [53]

### 6.2.3 Řezné podmínky

Vysoká efektivita procesu obrábění je podmíněna nastavením optimálních řezných podmínek a volbou vhodného řezného nástroje. U slitin hliníku je velmi důležité nastavení vhodných řezných podmínek kvůli jejich specifickému chování v procesu obrábění.

Hliníkové slitiny lze obrábět vysokými řeznými rychlostmi blížíící se hodnotě  $2500 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Pro dosažení takto vysokých řezných rychlostí je zapotřebí velmi výkonného stroje.

[66] [68]

## 6.2.4 Řezný nástroj

Slitiny hliníku mají tendenci k nalepování na nástroj ve formě nárůstku. Důsledkem je opotřebení řezného nástroje a nízká kvalita obrobeneho povrchu. Je tedy nutné využít řezných nástrojů s vysokou odolností, aby se omezil tento jev. Toho dosáhneme pouze použitím optimálního materiálu, tvaru a typy nástrojů s vhodnou geometrií břitu, a také správnou povrchovou úpravou nástroje.

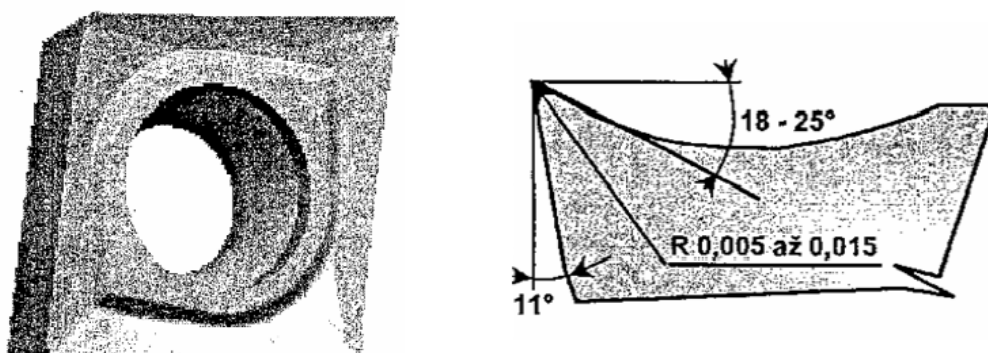
Dnes existují moderní obráběcí nástroje, se kterými je možné hospodárně obrábět některé slitiny hliníku. Nicméně stále platí, že s nimi nedosáhneme stejně dobrých výsledků jako s nástroji speciálně určenými pro obrábění těchto slitin.

[30] [55] [66]

### 6.2.4.1 Geometrie nástroje

V současnosti je trendem využívat při obrábění slitin hliníku nástroje s pozitivní geometrií břitu, malým úhlem a poloměrem špičky. U obrábění slitin hliníku je problematickou oblastí odvod třísky z místa řezu. Proto je nutné, aby geometrie břitu vyhovovala vysokým nárokům na její odvod. Z důvodu tvorby dlouhé a spojité třísky musí být řezný nástroj opatřen utvařečem.

[67] [69]



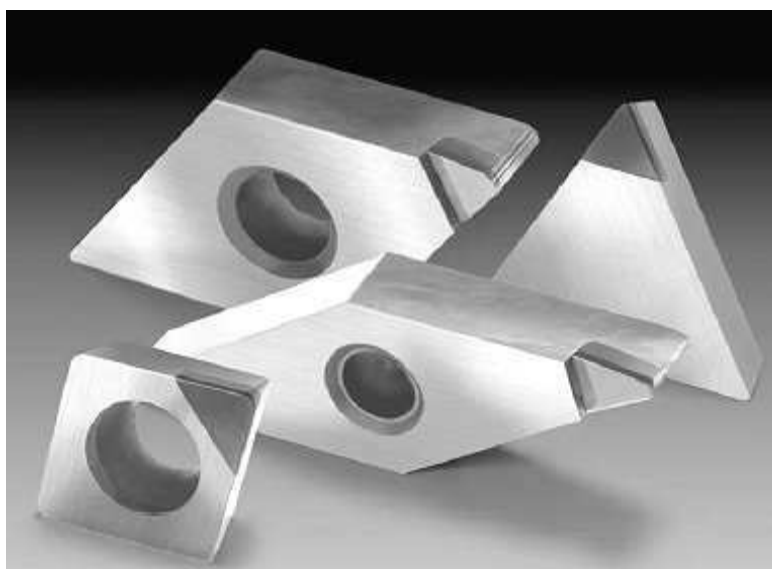
Obr. 34 – Geometrie nástroje pro obrábění Al slitin [70]

#### 6.2.4.2 Materiál řezného nástroje

Pro obrábění slitin hliníku se využívá řezných nástrojů ze slinutého karbidu. S použitím standardních nástrojů vyrobených z tohoto materiálu nastává problém s nalepováním nataveného hliníku. Problém s nalepováním na nástroje ze slinutých karbidů se prohlubuje s rostoucími parametry jako je zrnitost karbidu wolframu (WC), obsah kobaltu (Co), drsnost řezné hrany a povrchu nástroje. Příznivějších vlastností dosáhneme vhodnou povrchovou úpravou řezného nástroje.

Dalším materiálem řezného nástroje využívaného při obrábění slitin hliníku je polykrystalický diamant. Převážná část břitových destiček z tohoto materiálu se vyrábí ve formě, kdy se roubík z PKD malé tloušťky vsadí a připájí do vybrání ve špičce břitové destičky ze slinutého karbidu. Polykrystalický diamant se využívá při obrábění slitin hliníku s vysokým obsahem křemíku (12%), důvodem je jeho vysoká otěruvzdornost, nízká afinita a adheze uhlíku a hliníku.

[30] [55] [66] [71] [72] [73]



**Obr. 35 - Vsazené a připájené roubíky do připraveného vybrání [74]**

#### 6.2.4.3 Povrchová úprava nástroje

Vhodnou úpravou povrchu nástroje lze eliminovat nalepování nataveného hliníku. Pro tento účel se využívá ochranných vrstev jako TiB<sub>2</sub> a MoS<sub>2</sub>. Tyto vrstvy mají nízký koeficient tření  $\mu$  pohybující se v intervalu  $0,1 \div 0,2$ . Nalepování omezuje také nízká drsnost povrchu nástroje. Vlivem nízké drsnosti, které dosáhneme diamantovým mikroleštěním, se snižuje adheze. Úprava povrchu řezného nástroje mikroleštěním se pozitivně projeví i na drsnosti obrobené plochy.

Nástroje opatřené diamantovým povlakem se využívají jako alternativa destiček s připájenými roubíky. Jejich výhodou oproti břitovým destičkám s PKD segmenty je jejich nižší cena a vyšší životnost.

[30] [55] [69]

## **7 NÁVRH VHODNÉHO ŘEŠENÍ KONKRÉTNÍHO OTVORU**

Při výrobě přesných otvorů je velmi důležitá technologie, kterou je otvor vyroben. Vhodnou technologii navrhuje technolog na základě požadavků na funkční vlastnosti předepsaných konstruktérem. Je tedy velmi důležitá úzká spolupráce zainteresovaných osob do výrobního procesu a znalost práce toho druhého.

V současné době se neustále zvyšují nároky na životnost, spolehlivost, kvalitu a bezproblémovou funkci součásti nebo konkrétního strojního prvku. Důležitým faktorem vyplývajícím ze situace na dnešním trhu je vysoká efektivita výroby. Pro tento účel vynakládají společnosti zabývající se výrobou velké úsilí a finanční prostředky. Pouze tento přístup jim zajistí, aby jejich produkty zůstaly konkurenceschopné. Jde tedy o to, aby společnosti vyráběly velké množství výrobků s požadovanými vlastnostmi při použití co možná nejméně zdrojů.

Pro dodržení výše uvedených požadavků je občas nezbytná modifikace či dokonce záměna původní technologie novou. Tento postup byl uplatněn i v případě otvoru součásti, který je předmětem experimentální části práce.

Příčinou nahrazení původní technologie za novou byla snaha zvýšit efektivitu výroby konkrétního otvoru. Jedná se o otvor o průměru 18 mm. Jelikož se jedná o přesný otvor, bude snaha zvýšit efektivitu poslední operace ve sledu operací nezbytných pro výroby otvoru. Jedná se tedy zefektivnění dokončovací metody obrábění otvoru.

Další impulzem pro tento krok byly také přibývající reklamace zákazníka. Problematickým místem bylo najíždění nástroje do záběru. Při najíždění nástroj zanechával viditelné stopy, což zákazník vyhodnotil jako důvod k reklamaci. Předmětem reklamace nebyla pouze vizuální vada povrchu, ale také zhoršení jakosti obráběného otvoru a z toho plynoucí nesprávná funkčnost součásti INLET FLANGE.

## 7.1 Vybraná součást pro návrh nové technologie

### 7.1.1 Součást INLET FLANGE

Součást INLET FLANGE slouží jako vstupní příruba v chladiči, která je montována do různých typů a značek automobilů. Součást je vyrobena z profilové tyče a materiálu EN AW-6005 ve stavu tepelného zpracování T6 (vytvrzena za tepla).



Obr. 36 – Součást INLET FLANGE

Slitiny hliníku série 6xxx jsou legovány křemíkem a hořčíkem. Prvky jsou v poměru, který umožňuje vznik sloučeniny  $Mg_2Si$ . Následkem toho jsou slitiny této skupiny vytvrditelné. Slitiny jsou ve stavu T4 dobře tvařitelné.

Tento stav nastává po tepelném zpracování rozpouštěcím žíháním a následným vytvrzením (stárnutím) se dosahuje výrazného zvýšení meze pevnosti, meze kluzu a tvrdosti (stav T6). Pro jejich dobrou obrobiteľnosť, svařitelnost a odolnosť proti korozi se využívají především v automobilovém průmyslu.

[12] [53] [54] [75] [76] [75]

Tabulka 4 – Značení materiálu a jeho vlastnosti

Označení dle EN	Hutní označení	ČSN	DIN	Korozivní odolnost	Vhodnost k exoláži	Svařitelnost	Obrobiteľnosť
EN AW-6005	AlSiMg		3.3210	velmi dobrá	ano	velmi dobrá	dostatečná

Tabulka 5 – Mechanické vlastnosti Al slitiny

Materiál	Stav	R <sub>m</sub> min.	(Mpa) max.	R <sub>p0,2</sub> Mpa	Tažnosť (%) A 50mm
EN AW-6005 (AlSiMg )	T6	260		215	8

## 7.2 Původní technologie výroby otvoru

Před návrhem a uvedením do provozu nové technologie byl díl a tedy i otvor obráběn na vertikálním obráběcím centru DMC 65V od výrobce DECKEL MAHO. Jako procesní kapalina byla použita emulze.

### 7.2.1 Stroj

Toto jednovřetenové vertikální obráběcí centrum je určeno pro výrobu součástí z profilovaných polotovarů. Polotovary se upínají do přípravku na otočném stole. Upínání je zajištěno systémem řízeným hydraulickým agregátem, který je součástí stroje. Upínací sílu lze měnit v průběhu procesu obrábění. Řízení stroje je zajištěno softwarem Sinumeric 840D. Stroj je vybaven dopravníkem, který zajišťuje dopravu třísek do kontejneru. Součástí stroje je soustava umožňující vysokotlaké chlazení. Výměnu nástrojů obstarává automatický výměník nástrojů.



Obr. 37 – Jednovřetenové obráběcí centrum DMC 65V



Obr. 38 – Pracovní prostor obráběcího centra DMC 65V

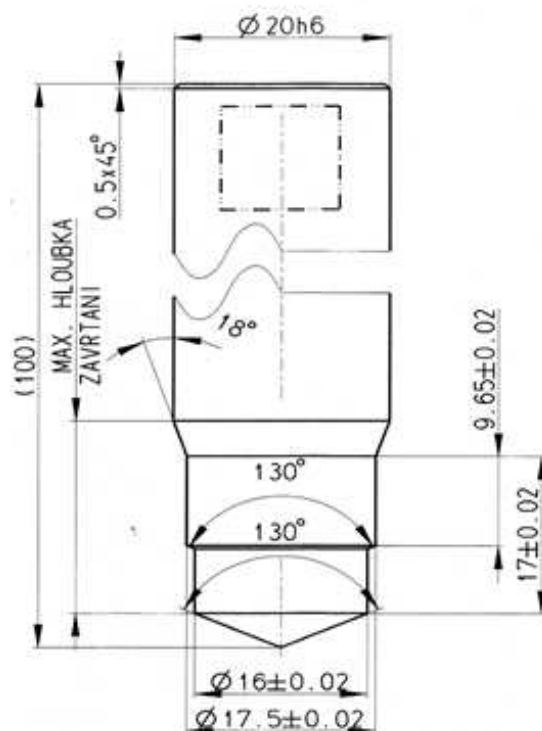
Tabulka 6 – Základní parametry obráběcího centra DMC 65V [77]

<b>Rozměry stroje (délka x šířka x výška) [mm]</b>	4100 x 3900 x 2900
<b>Hmotnost stroje [kg]</b>	10500
<b>Délka pracovního stolu [mm]</b>	850
<b>Šířka pracovního stolu [mm]</b>	540
<b>Maximální zatížení stolu (rovnoměrně) [kg]</b>	500
<b>Výkon pohonu vřetena [kW]</b>	15
<b>Počet nástrojů v zásobníku [ks]</b>	60
<b>Maximální otáčky se svislou osou vřetena [<math>\text{min}^{-1}</math>]</b>	18000
<b>Pojezdu v ose X [mm]</b>	650
<b>Pojezdu v ose Y [mm]</b>	500
<b>Pojezdu v ose Z [mm]</b>	500

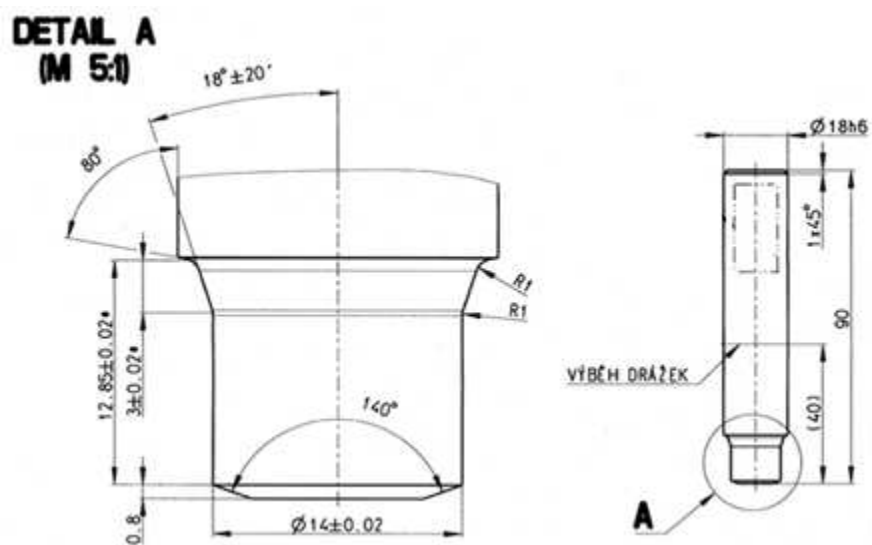
### 7.2.2 Nástroje

U původní technologie byly řezným nástroji sdružený vrták a tvarová fréza. Vrták je vyroben ze slinutého karbidu a byl použit pro předvrtání otvoru. Následně bylo frézou ze slinutého karbidu provedeno obrábění načisto.





Obr. 39 – Sdružený vrták pro předvrtání otvoru [3]



Obr. 40 – Tvarová fréza [3]



### 7.3 Nová technologie výroby otvoru

Pro splnění zvýšení efektivity a kvality výroby dílu INLET FLANGE, kdy doprovodným jevem bylo i zefektivnění výroby a zvýšení kvality otvoru, bylo nutné zakoupit výkonnější obráběcí centrum. Proto se vedení firmy KLEIN automotive s.r.o. rozhodlo zakoupit obráběcí centrum DZ15 W od výrobce CHIRON.

Oproti původní technologii byl nahrazen řezný nástroj použitý při obrábění načisto. Původně použitá tvarová fréza byla nahrazena výstružníkem s řeznými elementy z PKD. Pro předvrtání byl použit sdružený vrták z SK. Procesní kapalinou zůstala emulze.

#### 7.3.1 Stroj

Součást (otvor) byla obráběna na obráběcím centru řady DZ15 W od výrobce CHIRON. Toto vysoce produktivní centrum se vyznačuje rychlostí, kompaktností konstrukce, vysokou stabilitou a spolehlivostí, a proto patří ve své třídě mezi světovou špičku. Obráběcí centra řady 15 dosahují vysokých posuvových rychlostí. Výměna nástrojů a polotovarů je velmi rychlá. Polotovary jsou upínány na otočný stůl. Stroje jsou dodávány s různým počtem vřeten. Ten ve společnosti KLEIN automotive s.r.o. je opatřen dvěma vřeteny, což umožňuje obrábění dvou otvorů současně.



Obr. 41 – Dvouvřetenové obráběcí centrum CHIRON DZ15 W



Obr. 42 – Pracovní prostor obráběcího centra CHIRON DZ15 W

Otvor je obráběn „obsoučást“, to znamená, že když jedno vřeteno pracuje na dílu 1, ve stejný okamžik druhé vřeteno pracuje na dílu 3. Stejná metodika platí u obrábění dílů 2 a 4.



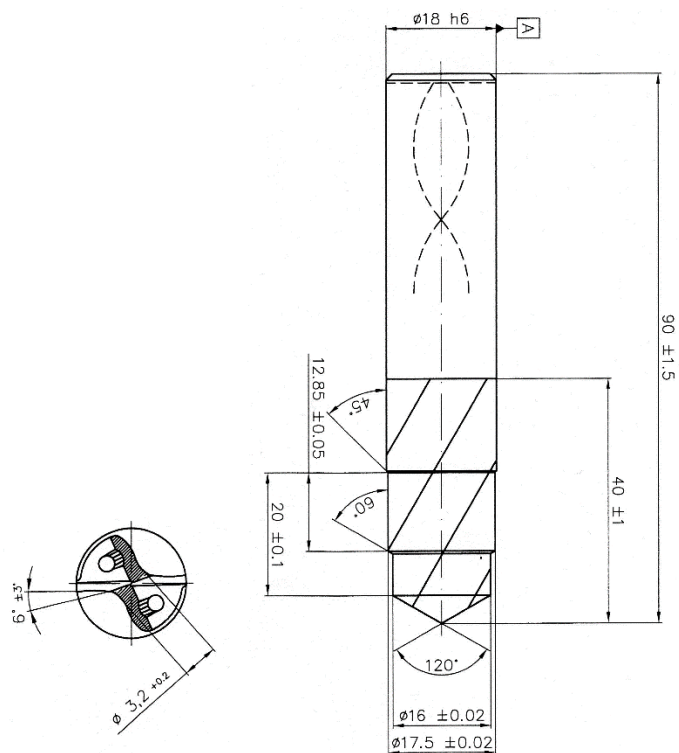
Obr. 43 – Rozmístění dílů upnutých na stole stroje

Tabulka 7 – Základní parametry obráběcího centra DZ 15W [78]

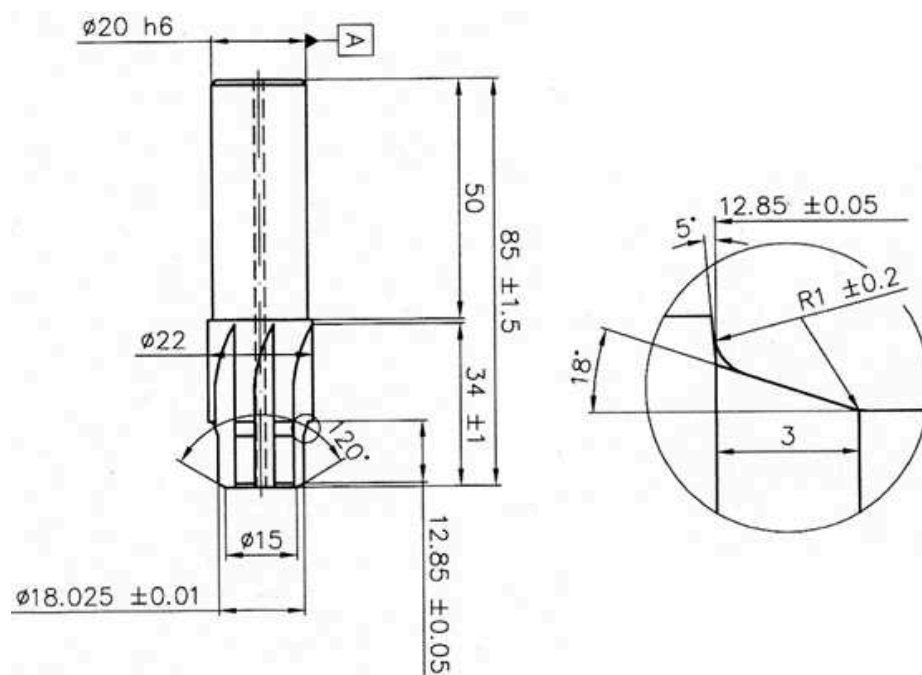
Pojezd X [mm]	730
Pojezd Y [mm]	400
Pojezd Z [mm]	425
Rozměry otočného stolu (výška x šířka x délka) [mm]	2 x 660 x 400
Otáčky vřetene [ $\text{min}^{-1}$ ]	20 – 20000
Počet nástrojových míst [ks]	2 x 12
Maximální hmotnost nástroje [kg]	10
Maximální průměr nástroje [mm]	175
Maximální délka nástroje [mm]	300

### 7.3.2 Nástroje

Nástrojem je u této technologie výstružník s řeznými elementy z PKD. Výstružník byl využit pro obrábění načisto. Pro hrubování byl využit sdružený vrták.



Obr. 44 – Sdružený vrták [3]



Obr. 45 – Výstružník s řeznými elementy z PKD [3]

## 8 DISKUZE EXPERIMENTU

Experimentální část byla rozdělena na dvě části. Předmětem první části bylo obrábění otvoru na díle INLET FLANGE s následným měřením kruhovitosti. Tato část experimentu byla prováděna za plného provozu ranní směny ve firmě KLEIN automotive s.r.o.

Druhá část byla realizována ve firmě Pramet Tools, s.r.o. a zahrnovala měření drsnosti povrchu obrobeného otvoru.

Cílem experimentální části byl návrh řešení související se zvýšením kvality a efektivity výroby vybraného otvoru dílu INLET FLANGE. Pro dosažení stanovených cílů bylo nutné navrhnout a nahradit původní technologii výroby, technologií novou.

### 8.1 Experiment

Experiment byl rozdělen na části. Každá z částí zahrnovala obrobení dílu s následným měřením vybraných parametrů důležitých pro posouzení kvality otvoru. Jedním z parametrů byla kruhovitost otvoru. Dalším parametrem byla drsnost povrchu po jeho obrobení. Tento postup byl proveden jak u původní, tak u nově navržené a do provozu uvedené technologie.

Pro stanovení, zda nově navržená technologie je z hlediska efektivity a kvality výroby výhodnější než předešlá, bylo důležité získání výrobního času otvoru u obou technologií. Změřený čas zahrnoval pouze dobu potřebnou pro dokončovací operaci otvoru.

V první části experimentu byla provedena analýza původní technologie výroby vybraného otvoru. Tato analýza zahrnovala měření času potřebného pro frézování a měření vybraných parametrů charakterizujících kvalitu otvoru. Na základě dosažených výsledků a jejich následného vyhodnocení byla navržena opatření a řešení nedostatků.

V další části experimentu byla na základě zjištěných výsledků navržena technologie nová, která je z hlediska efektivity a kvality výroby daného otvoru vhodnější. Po návrhu následovala praktická zkouška nově navržené technologie. I tato část experimentu se skládala, kromě samotné výroby otvoru, i z měření vybraných parametrů.

Pro větší objektivitu byl experiment prováděn na větším počtu kusů konkrétně na čtyřech.

### **8.1.1 Měřicí zařízení**

Součástí experimentální části bylo provedení měření vybraných parametrů, jako je kruhovitost a drsnost povrchu.

#### **8.1.1.1 Měření kruhovitosti**

Měření kruhovitosti otvoru byla provedena pracovníky ve firmě KLEIN automotive s.r.o. na přístroji ZEISS CONTURA. Tento masivní a přesný měřicí stroj je opatřen keramickým vedením nebo vedením v technologii CARAT zaručující vysokou tuhost, nízkou tepelnou roztažnost a minimální hmotnost. Stroj je schopen vyvinout díky vzduchovým ložiskům vysoké pojezdové rychlosti a zrychlení při neměnné stabilitě ve všech třech osách. Sklokeramická měřítka s plovoucím uložením nevyžadují žádná teplotní čidla a matematické kompenzace. Je to dáno jejich zanedbatelnou teplotní roztažností. Měřicí stroje ZEISS CONTURA jsou velmi dobře chráněny proti nečistotám a dalším okolním vlivům, které mohou ovlivnit přesnost měření. Tento fakt je předurčuje k využití v dílenském prostředí.

Výstupem měření je protokol, který je automaticky vygenerován prostřednictvím softwaru CALYPSO. Tento protokol zahrnuje číselný a grafický výsledek měření zachycující odchylky skutečného tvaru otvoru od referenční kružnice (jmenovitého průměru). Důležitou částí protokolu je také vyobrazená přípustná odchylka kruhovitosti.

#### **8.1.1.2 Měření drsnosti povrchu**

Toto měření bylo provedeno příslušným pracovníkem ve společnosti Pramet Tools s.r.o. Měření bylo uskutečněno na měřicím stroji MarSurf XR 20 od výrobce Mahr, který patří do absolutní špičky v oblasti měření jakosti povrchu. Součástí přístroje je software MarWin, který zabezpečuje spolehlivé a snadné ovládání.

Prostřednictvím softwaru a PC jsou vytvářeny obsáhlé protokoly. Komunikaci mezi softwarem a přístrojem zajišťuje MarTalk.

Tento přístroj na bázi PC umožňuje měření všech používaných parametrů pro R — profil, P — profil a W — profil. Přístroj dovoluje připojení různých posuvových jednotek. Vybírat lze z jednotek s označením PZK, GD 25, PGK 20, PGK 120 a PRK.



Obr. 46 – MarSurf XR 20 [79]

## 8.2 Původní technologie výroby otvoru

Nejdříve bylo nutné seznámení se s původní technologií, s jejími nedostatky a úskalími. Po seznámení následovalo samotné obrobení vybraného otvoru na součásti INLET FLANGE. Následovalo měření času potřebného pro zhotovení otvoru frézováním. Měřením bylo zjištěno, že pro výrobu otvoru původní technologií je zapotřebí 4,1 sekundy.

Dále byla sledována kvalita zhotoveného otvoru. Sledovanými parametry kvality byly kruhovitost a drsnost povrchu. Z provedených měření a následného vyhodnocení bylo zjištěno, že tvar otvoru se „blíží“ elipse.

Tato odchylka kruhovitosti je dána faktem, že fréza a otvor nejsou v jedné ose, tzn., že spirálově interpoluje. Měřenými parametry drsnosti povrchu byly  $R_a$  a  $R_z$ .

Z grafického výstupu měření drsnosti je možné vidět, že rozsah nerovností je poměrně velký. U každé součásti byla provedena tři měření. Celkově tedy bylo provedeno 12 měření.

Otvor byl zhotoven dvěma operacemi. První operací bylo vrtání a druhou bylo jemné frézování. Vrtání bylo realizováno posuvem  $0,175 \text{ mm} \cdot \text{ot.}^{-1}$  a s otáčkami nástroje  $2750 \text{ min}^{-1}$ . Frézování probíhalo při otáčkách nástroje  $6500 \text{ min}^{-1}$  a posuvu  $0,04 \text{ mm} \cdot \text{ot.}^{-1}$ .

### 8.2.1 Výsledky měření drsnosti povrchu a kruhovitosti – původní technologie

Výsledky měření obou sledovaných parametrů jsou zpracovány v protokolech, které byly vygenerovány softwarem měřících přístrojů (strojů).



V protokolech jsou vyobrazeny jak grafické průběhy obou parametrů, tak i číselné hodnoty výsledků měření.

Měření drsnosti povrchu probíhalo při nastavení a parametrech uvedených v Tabulce 8.

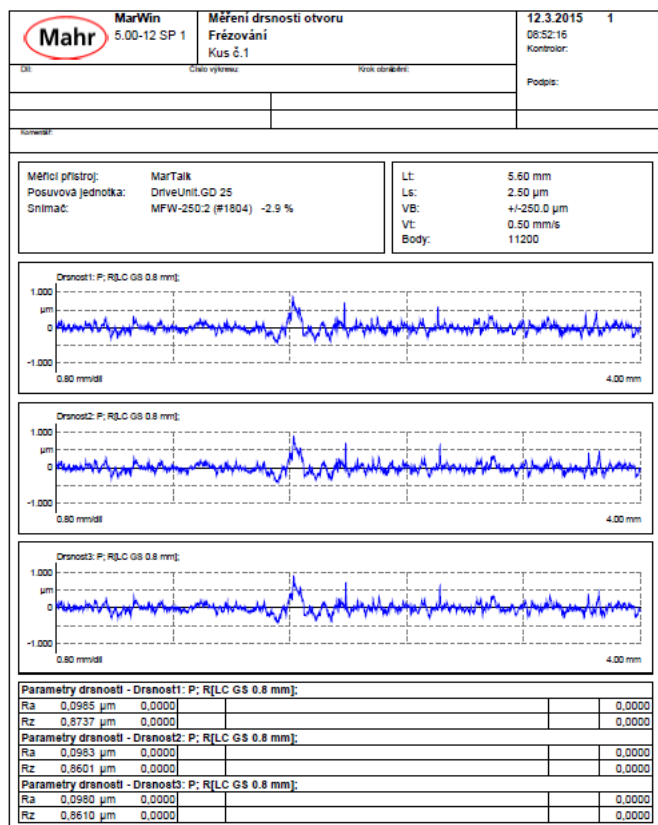
**Tabulka 8 – Podmínky měření**

<b>Posuvová jednotka</b>		DriveUnit. GD 25
<b>Snímač</b>		MFW – 250:2
<b>Snímaná dráha</b>	Lt	5,60 mm
<b>Krátkovlnný filtr</b>	Ls	2,50 $\mu\text{m}$
<b>Měřicí rozsah</b>		$\pm 250 \mu\text{m}$
<b>Rozlišení profilu</b>		5 nm
<b>Rychlost posuvu</b>	Vt	0,5 mm · s <sup>-1</sup>

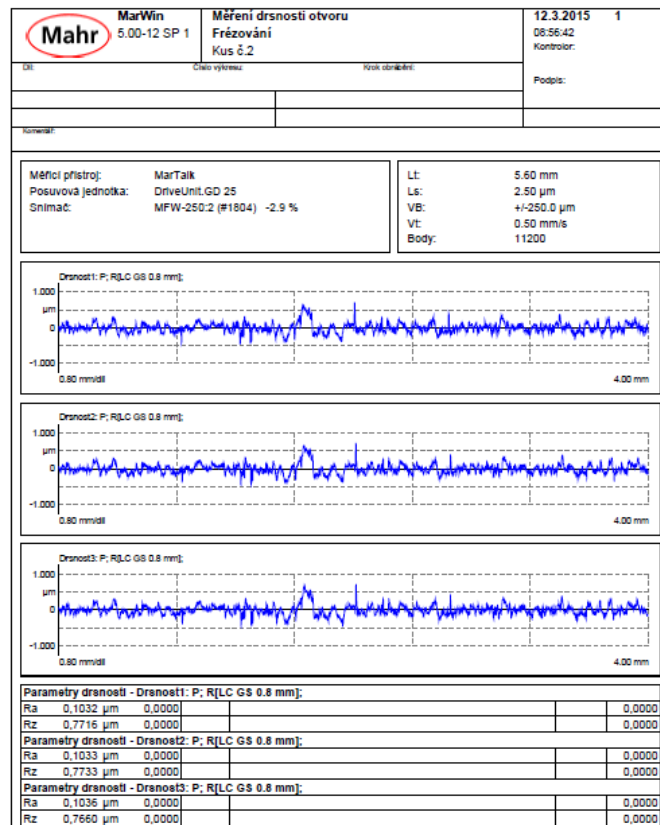
**Tabulka 9 – Výsledky měření drsnosti povrchu**

	<b>Číslo měření</b>	<b>Ra [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Rz [<math>\mu\text{m}</math>]</b>
Otvor 1	Měření 1	0,0985	0,8737
	Měření 2	0,0983	0,8601
	Měření 3	0,0980	0,8610
Otvor 2	Měření 1	0,1032	0,7716
	Měření 2	0,1033	0,7733
	Měření 3	0,1036	0,7660
Otvor 3	Měření 1	0,1141	0,8011
	Měření 2	0,1140	0,7990
	Měření 3	0,1141	0,8047
Otvor 4	Měření 1	0,0965	0,8529
	Měření 2	0,0941	0,8496
	Měření 3	0,0924	0,8490

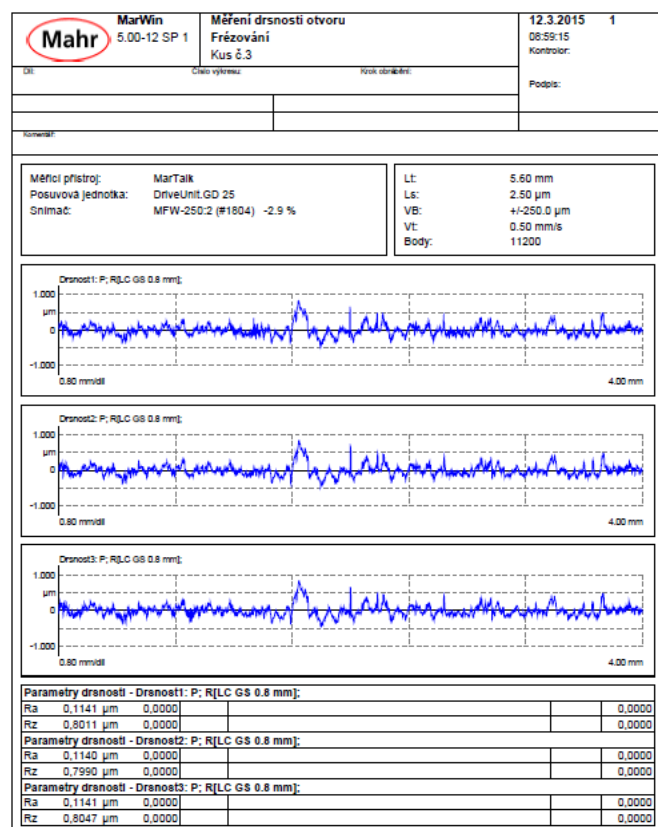




Obr. 47 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvor 1



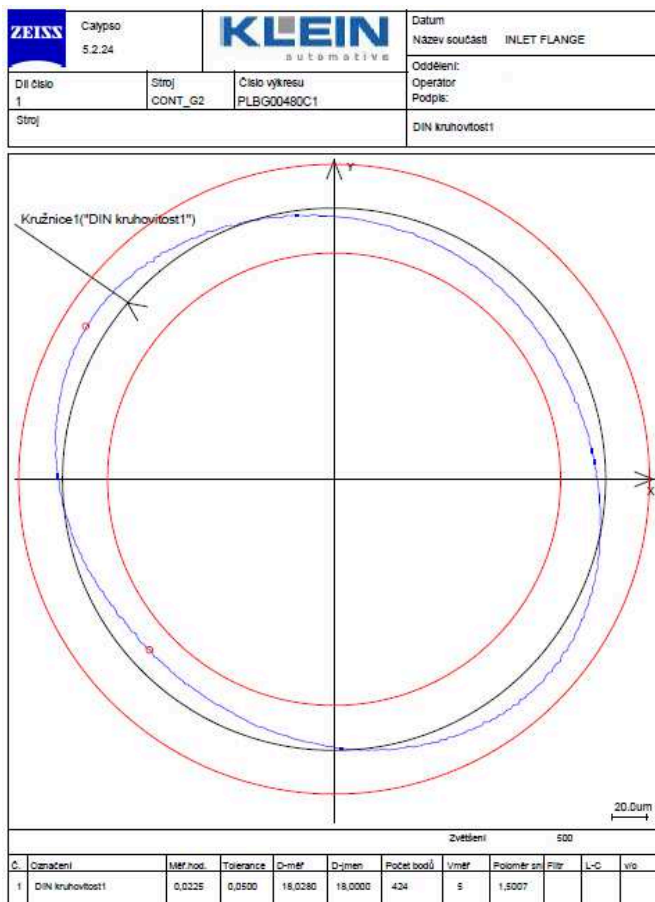
Obr. 49 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvor 2



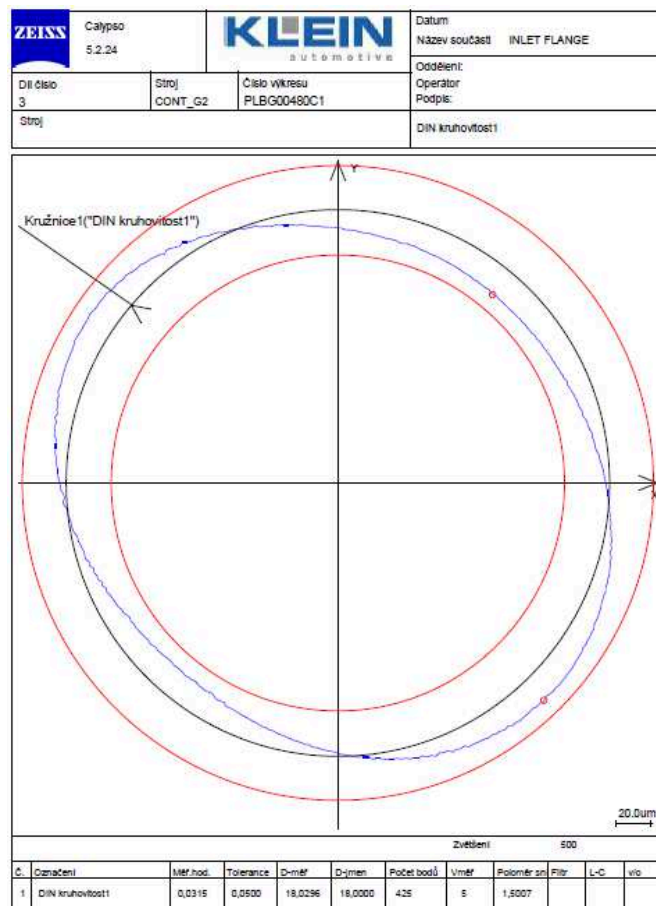
Obr. 48 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvor 3



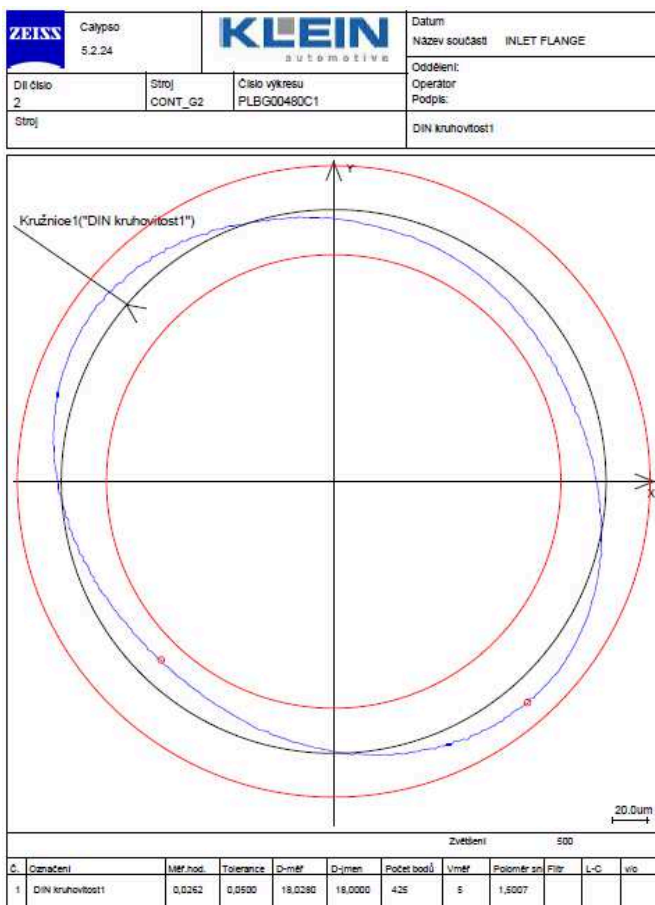
Obr. 50 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvor 4



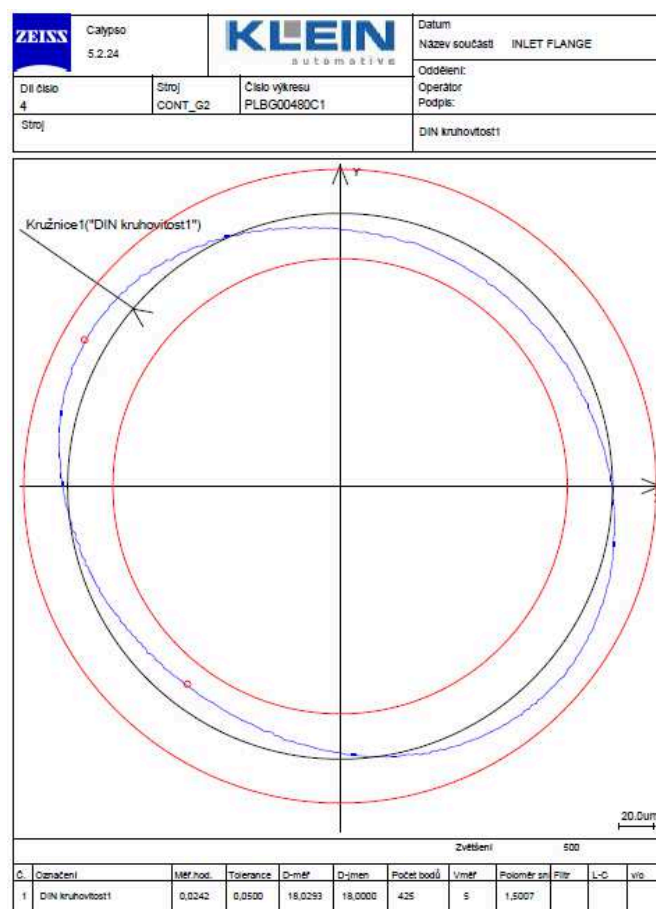
Obr. 51 – Výsledek měření kruhovitosti – otvor 1



Obr. 53 - Výsledek měření kruhovitosti – otvor 3



Obr. 52 – Výsledek měření kruhovitosti – otvor 2



Obr. 54 – Výsledek měření kruhovitosti – otvor 4

### 8.3 Nová technologie výroby otvoru - experiment

Před samotným návrhem nové technologie bylo nutné provést analýzu dosažených výsledků technologie původní. Na základě rozboru výsledků měření drsnosti povrchu a kruhovitosti byla navržena nová technologie výroby otvoru, která povede k jejich zlepšení. Hlavním úkolem nové technologie však bylo zefektivnění výroby otvoru.

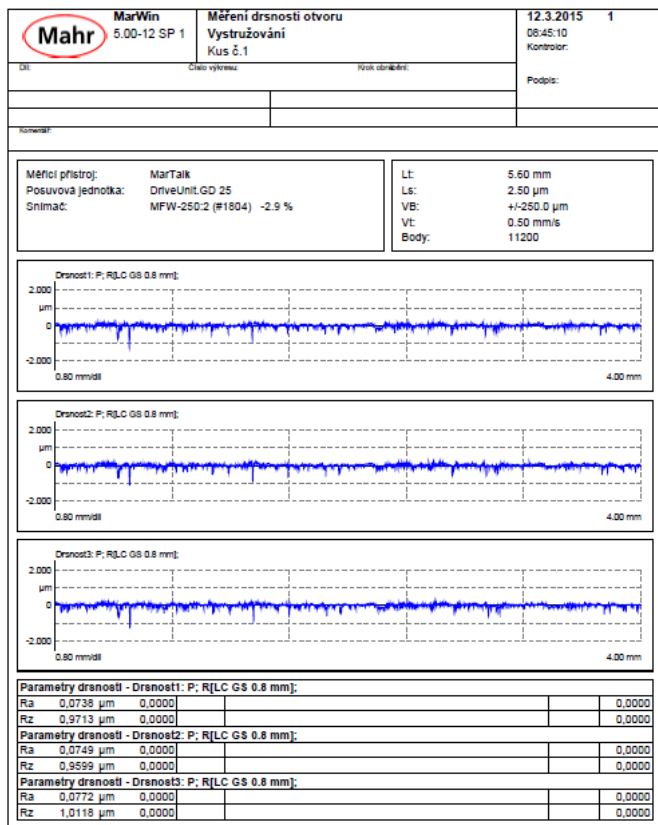
Nová se od původní technologie liší v použitých nástrojích, použitém stroji a parametrech obrábění. Otvor byl vyroben vrtáním a vystružováním. Vrtání probíhalo za stejných podmínek jako u původní technologie. Vystružování probíhalo při  $5000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$  a posuvu  $0,3 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ .

#### 8.3.1 Výsledky měření drsnosti povrchu a kruhovitosti – nová technologie

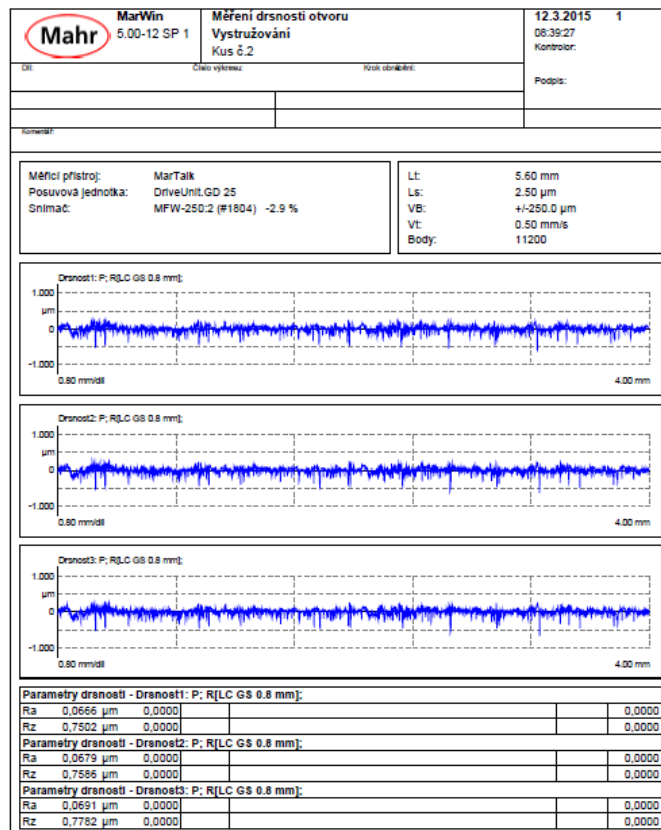
Měření vybraných parametrů bylo provedeno stejným způsobem jako u původní technologie.

Tabulka 10 – Výsledky měření drsnosti povrchu

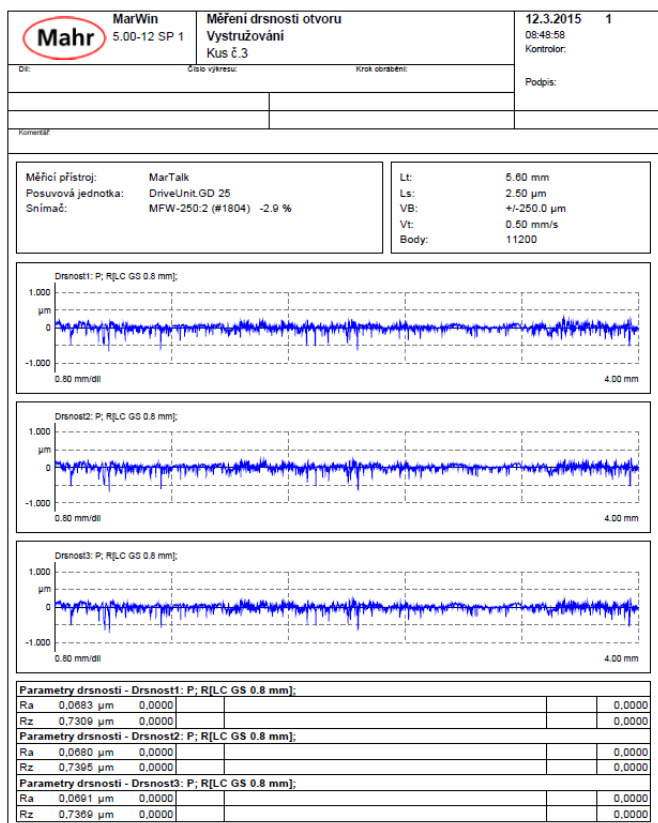
	Číslo měření	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
Otvor 1	Měření 1	0,0738	0,9713
	Měření 2	0,0749	0,9599
	Měření 3	0,0772	1,0118
Otvor 2	Měření 1	0,0666	0,7502
	Měření 2	0,0679	0,7596
	Měření 3	0,0691	0,7782
Otvor 3	Měření 1	0,0683	0,7309
	Měření 2	0,0680	0,7395
	Měření 3	0,0691	0,7369
Otvor 4	Měření 1	0,0665	0,7496
	Měření 2	0,0661	0,7591
	Měření 3	0,0697	0,7642



Obr. 55 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvor 1



Obr. 57 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvor 2

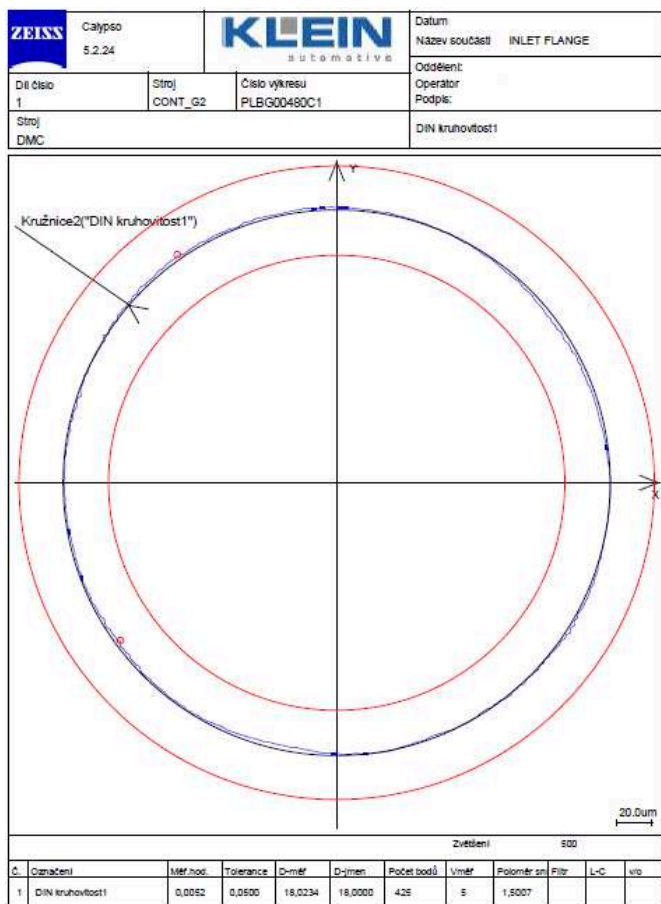


Obr. 56 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvoru 3

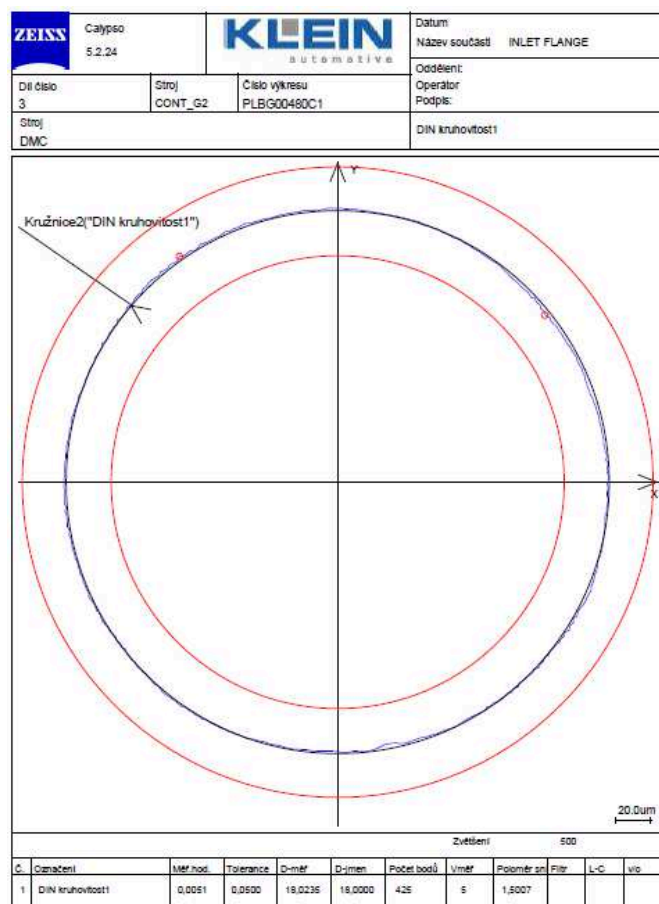


Obr. 58 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvoru 4

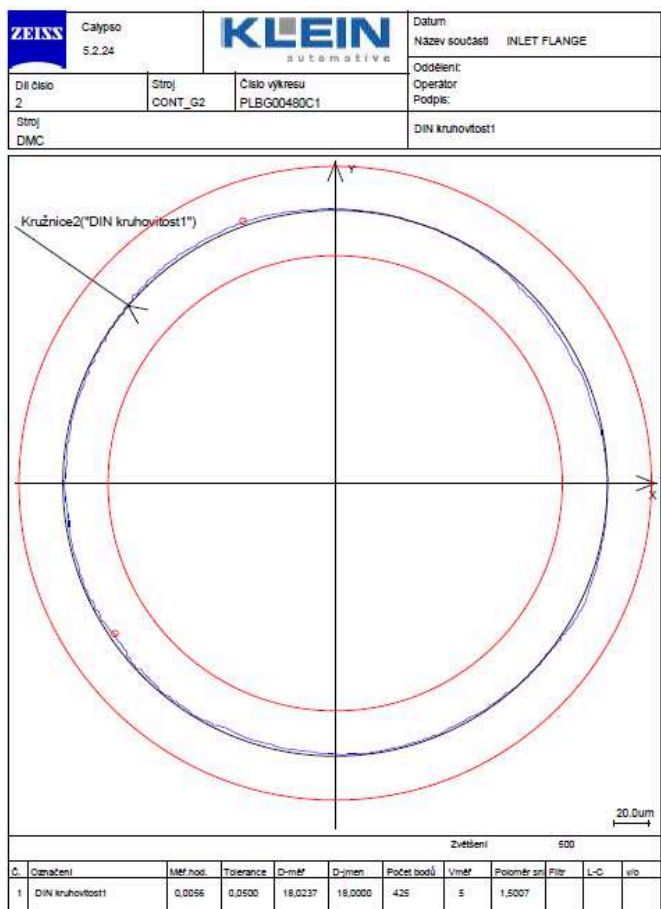




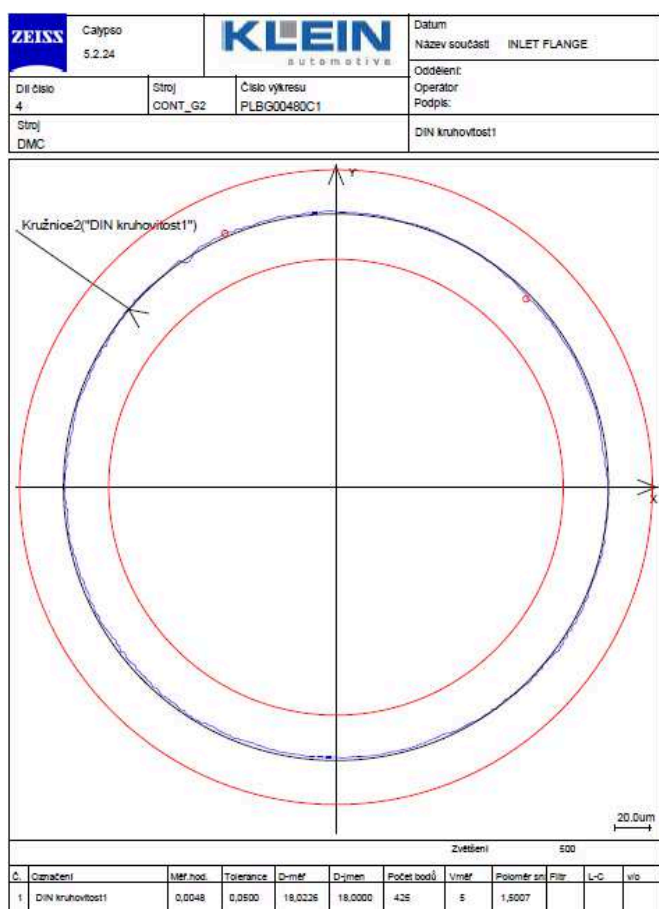
Obr. 59 - Výsledek měření kruhovitosti – otvor 1



Obr. 61 - Výsledek měření kruhovitosti – otvor 3



Obr. 60 - Výsledek měření kruhovitosti – otvor 2



Obr. 62 - Výsledek měření kruhovitosti – otvor 4

## 9 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Při návrhu nové technologie pro výrobu dílu INLET FLANGE bylo očekáváno její zefektivnění, a tím i zvýšení efektivity výroby otvoru. Dále bylo předpokládáno i zvýšení kvality. Tento předpoklad se po přezkoumání dosažených výsledků původní a novou technologií převážně potvrdil. Zlepšení parametru Rz vykazovaly otvory 2, 3 a 4. U otvoru číslo 1 měl parametr Rz vyšší hodnoty. Možnou příčinou mohla být špatná manipulace se součásti.

Výrobní čas otvoru se zkrátil téměř o polovinu z původních 4,10 s na 2,20 s. Dále bylo prokázáno zvýšení kvality zhotoveného otvoru. Díky nové technologii byl eliminován „eliptický“ tvar otvoru, a tím pádem se zlepšila kruhovitost. Drsnost povrchu předepsaná parametrem Ra se zlepšila u všech měřených otvorů.

Zvýšení efektivity je dáno především použitými stroji. Při původní technologii byl využit jednovřetenový stroj DMC 65V. To znamená, že na obrábění jednoho kusu pracuje pouze jedno vřeteno. Nová technologie byla realizována na dvouvřetenovém stroji CHIRON DZ15 W. Tento stroj umožňuje obrábění dvou kusů (otvorů) současně, což vede ke značné úspoře času výroby.

Dalšími faktory ovlivňujícími efektivitu byly použité metody obrábění a řezné nástroje. Velmi pozitivní dopad měli i na kvalitu zhotoveného otvoru.

Všechna výše zmíněná fakta měla i ekonomický dopad.

### 9.1 Porovnání časů výroby

Z Tabulky 11 je patrné, že zavedením nové technologie byly výrazně zkráceny časy potřebné pro výrobu otvoru, a to se samozřejmě projevilo i zkrácením celkového času výroby součásti INLET FLANGE. Rozdíl v čase výroby otvoru činil 1,90 sekundy. Čas potřebný pro výrobu celé součásti vyjádřený v Nmin se u obou technologií lišil o 0,444 Nmin.

Tabulka 11 – Porovnání časů výroby

Stroje	Čas výroby otvoru [s]	Spotřeba času na kus [Nmin]
DMC 65V	4,10	1,5
CHIRON DZ15 W	2,20	1,056

## 9.2 Ekonomické zhodnocení

Zásluhou nově navržené technologie došlo ke zvýšení efektivity výroby daného otvoru (součásti). Zefektivnění spočívá ve zkrácení výrobního času otvoru, čímž došlo i ke snížení spotřeby času na jednu součást, což vedlo ke zvýšení počtu obrobených otvorů (součástí) za směnu a snížení nákladů na výrobu.

Vycházíme z toho, že se vyrábí na třísměnný provoz a délka směny je 7,5 hod (450 min). Plánované množství pro rok 2015 je 250 000 kusů.

Hodinová sazba strojů DMC 65V a stroje CHIRON DZ15 W je ve společnosti KLEIN automotive s.r.o. 600 a 800 Kč. Rok 2015 má 251 pracovních dnů.

Tabulka 12 – Spotřeba času na kus a počet vyrobených kusů za směnu

Stroj	Spotřeba času na kus [Nmin]	Vyrobené kusy za směnu [ks]
DMC 65V	1,5	300
CHIRON DZ15 W	1,056	426

Počet vyrobených kusů za rok 2015, který má 251 pracovních dnů, je na stroji DMC 65V 225 900 a na stroji CHIRON DZ15 W je 320 880.

### Celková úspora

#### DMC 65V

$$250\,000 \cdot 1,5 = 375\,000 \text{ Nmin/rok} \rightarrow 6250 \text{ Nhod/rok.}$$

$$6250 \cdot 600 = 3\,750\,000 \text{ Kč.}$$

#### CHIRON DZ15 W

$$250\,000 \cdot 1,056 = 264\,000 \text{ Nmin/rok} \rightarrow 4400 \text{ Nhod/rok.}$$

$$4400 \cdot 800 = 3\,520\,000 \text{ Kč.}$$

$$3\,750\,000 - 3\,520\,000 = 230\,000 \text{ Kč/rok.} \rightarrow \text{celková úspora za rok}$$

Z výpočtu je patrné, že rozdíl spotřeby času obou technologií činil 1850 Nhod/rok. Dále je zřejmé, že i přes vyšší hodinovou sazbu stroje CHIRON se celková úspora za rok vyšplhá na 230 000 Kč.

## 10 ZÁVĚR

Diplomová práce se věnuje návrhu nové technologie výroby vybraného přesného otvoru na součásti INLET FLANGE. Cílem práce bylo zefektivnit výrobu přesného otvoru v dílech ze slitin hliníku.

V teoretické části diplomové práce je popsána problematika obrábění hliníku, jeho slitin a výroby přesných otvorů. Experimentální část práce se zabývá rozбором původní technologie výroby přesného otvoru (součásti). Experiment je rozdělen na 2 části. V první části byl obráběn otvor na díle INLET FLANGE s následným měřením kruhovitosti, což bylo provedeno ve firmě KLEIN automotive s.r.o. Druhá část byla realizována ve firmě Pramet Tools, s.r.o. a zahrnovala měření drsnosti povrchu obrobeného otvoru. Na základě výsledků analýzy byla navržena nová technologie výroby otvoru, jejímž účelem bylo zefektivnění procesu. Příčinou nahrazení původní technologie za novou byla snaha zvýšit efektivitu výroby konkrétního otvoru. Další impulzem pro tento krok byly přibývajících reklamace zákazníka.

Při návrhu nové technologie pro výrobu dílu INLET FLANGE bylo očekáváno její zefektivnění, a tím i zvýšení efektivity výroby a kvality otvoru. Tento předpoklad se po přezkoumání dosažených výsledků původní a novou technologií převážně potvrdil. Experiment byl prováděn na čtyřech součástech. U otvorů 2,3 a 4 bylo očekávání naplněno. Výjimkou byl otvor číslo 1, u kterého byl parametr drsnosti povrchu Rz vyšší než u původní technologie. Drsnost povrchu předepsaná parametrem Ra se zlepšila u všech sledovaných otvorů. Díky nové technologii byl eliminován „eliptický“ tvar otvoru, a tím pádem se zlepšila i kruhovitost. Ke zvýšení efektivity převážnou částí přispěl použitý stroj. Při původní technologii byl využit jednovřetenový stroj DMC 65V, který pracoval v jeden okamžik pouze na jednom kusu. Strojem u nové technologie byl dvouvřetenový stroj CHIRON DZ15 W. Tento stroj umožňoval obrábění dvou kusů (otvorů) současně, což vedlo ke značné úspoře času výroby. Dalšími faktory ovlivňujícími efektivitu byly použité metody obrábění a řezné nástroje. Velmi pozitivní dopad měli i na kvalitu zhotoveného otvoru. Výrobní čas otvoru se zkrátil téměř o polovinu z původních 4,10 s na 2,20 s.

Zefektivnění spočívá ve zkrácení výrobního času otvoru, čímž došlo i ke snížení spotřeby času na jednu součást, což vedlo ke zvýšení počtu obrobených otvorů (součástí) za směnu a snížení nákladů na výrobu. Celková úspora za rok činí 230 000 Kč.



## 11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KLEIN automotive s.r.o. [online]. 2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.klein-automotive.cz/>
- [2] BUREŠOVÁ, Jana. Klein & Blažek spol. s r.o.: Zaměření na dodávky celků s vyšší přidanou hodnotou. *Svět Průmyslu*. 2012, č. 5, s. 30-32.
- [3] Interní podklady firmy KLEIN automotive s.r.o.
- [4] DULA, Jan. *Metrologie ve strojírenství: Sbližování teorie s praxí* [online]. 2010 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: <http://www.uh.cz/szesgsm/files/sblizovani/pdf/mereni-vz-polohy-mustr.pdf>
- [5] VELIČKOVÁ, Eva. *Rozměrová a tvarová přesnost, přesnost polohy, drsnost povrchu* [online]. - [cit. 2015-03-29]. Dostupné z: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/040/.content/sys-cs/resource/PDF/presnost.pdf>
- [6] TICHÁ, Šárka. *STROJÍRENSKÁ METROLOGIE: část 1* [online]. 2004 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/346/cs/studium/studijni-literatura/STROJIRENSKA-METROLOGIE-1.dil.pdf>
- [7] SVOBODA, Pavel a Et AL. *Základy konstruování: 2. přepracované vydání*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-7204-306-4.
- [8] VELIČKOVÁ, Eva. *Rozměrová a tvarová přesnost, přesnost polohy, drsnost povrchu* [online]. - [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/040/.content/sys-cs/resource/PDF/presnost.pdf>
- [9] Pokrok v měření a hodnocení struktury povrchu. *MM Průmyslové Spektrum* [online]. 2001, č. 4 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pokrok-v-mereni-a-hodnoceni-struktury-povrchu.html>
- [10] *Mm\_pod.* -. Dostupné z: [http://www.kom.tul.cz/soubory/mm\\_pod.zip](http://www.kom.tul.cz/soubory/mm_pod.zip)
- [11] *Předepisování struktury povrchu*. 2012. Dostupné z: [http://www.spskladno.cz/stahuj\\_dumy.php?id=1094](http://www.spskladno.cz/stahuj_dumy.php?id=1094)

- [12] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [13] *Systém měření drsnosti - parametry drsnosti* [online]. - [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: [http://www.hommel-etamic.cz/files/094\\_14-hommel-plakat-drsnost-1000x700mm.pdf](http://www.hommel-etamic.cz/files/094_14-hommel-plakat-drsnost-1000x700mm.pdf)
- [14] *Drsnost obrobeného povrchu* [online]. 2010 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/>
- [15] *Povrchy povlaků - mikrogeometrie* [online]. - [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/spt/povrchy%20povlaku.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/povrchy%20povlaku.pdf)
- [16] *Drsnost povrchu* [online]. - [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: [http://sps-projekt.hostuju.cz/soubory/Drsnost\\_povrchu.pdf](http://sps-projekt.hostuju.cz/soubory/Drsnost_povrchu.pdf)
- [17] Zvyšování kvality hodnocení struktury povrchu. *MM Průmyslové Spektrum* [online]. 2004, č. 12 [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zvysovani-kvality-hodnoceni-struktury-povrchu-2.html>
- [18] *Nauka o materiálu* [online]. - [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: [http://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/339/.content/files/Slide8\\_ZbytkovaNapeti\\_NDT.pdf](http://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/339/.content/files/Slide8_ZbytkovaNapeti_NDT.pdf)
- [19] NESLUŠAN, Miroslav, et al. Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [20] *INTEGRITA POVRCHU A JEJÍ VÝZNAM PRO POSOUZENÍ VHODNOSTI DANÉ PLOCHY PRO JEJÍ FUNKCI* [online]. - [cit. 2015-04-24]. Dostupné z: [http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/database-predmetu/3VT/3VT\\_Bumbalek\\_Integrita%20povrchu%20a%20posouzeni%20plochy%20pro%20funkci.pdf](http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/database-predmetu/3VT/3VT_Bumbalek_Integrita%20povrchu%20a%20posouzeni%20plochy%20pro%20funkci.pdf)
- [21] *Co jsou zbytková napětí?* [online]. - [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://msvantne.webnode.cz/news/co-jsou-zbytkova-napeti/>
- [22] URBAN, Josef. *Integrita povrchu - základní pojmy*. -. Dostupné z: [http://www.ateam.zcu.cz/download/Integrita\\_Urban1.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/Integrita_Urban1.pdf)

- [23] BUMBÁLEK, Bohumil. *Vysoce přesné metody obrábění a jejich fyzikální podstata*. [online]. [cit. 2011-28-09]. Dostupné z: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/ust/vys.presne.met.obr.pdf>.
- [24] *Poznání nehmotného světa zbytkových napětí*. 2013. Dostupné z: [http://www.opi.zcu.cz/download/1\\_Ganev.pptx](http://www.opi.zcu.cz/download/1_Ganev.pptx)
- [25] KOCMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [26] TECHNIK, Radim. *Vystružovací nástroje s břity z cermetu a PVD povlakem*. Brno, 2009. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16486](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16486).  
Diplomová práce.
- [27] PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění: Učební texty vysokých škol, Vysoké učení technické v Brně*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 8021440252.
- [28] *INTEGRITA POVRCHU V OBLASTI TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ*. -. Dostupné z: [http://ateam.zcu.cz/download/Integrita\\_prednaskaTZ.pdf](http://ateam.zcu.cz/download/Integrita_prednaskaTZ.pdf)
- [29] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část* [online]. 2003 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
- [30] AB SANDVIK, COROMANT. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky: 1. České vydání: Překlad Miroslav Kudela*. Praha: Scienti, 1997. ISBN 91-972-2994-6.
- [31] LIPA, Zdenko a Alexander JANÁČ. *Dokončovacie spôsoby obrábania. 1. vyd.* Bratislava: STU, 2000. ISBN 80-227- 1324-4.
- [32] *Soustružnické nástroje: SANDVIK Coromant*. 2012. Dostupné z: [http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/cs-cz/turning/turn\\_a.pdf](http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/cs-cz/turning/turn_a.pdf)
- [33] *Příručka obrábění: PRAMET*. 2004. Dostupné z: [http://www.isstechn.cz/objekty/prirucka\\_obrabeni.pdf](http://www.isstechn.cz/objekty/prirucka_obrabeni.pdf)
- [34] T-support. *Vrtání* [online]. 2012 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.t-support.cz/kat/vrtani-9>

- [35] Výkonné vrtací nástroje - vysoká produktivita obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001, č. 11 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vykonne-vrtaci-nastroje-vysoka-produktivita-obrabeni.html>
- [36] Karbidové vrtáky nové generace. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2004, č. 5 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/karbidove-vrtaky-nove-generace.html>
- [37] Produktivní nástroje pro vrtání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2003, č. 5 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/produktivni-nastroje-pro-vrtani.html>
- [38] *Rotační nástroje: SANDVIK Coromant*. 2012. Dostupné z: [http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/cs-cz/rotating/ROT\\_F.pdf](http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/cs-cz/rotating/ROT_F.pdf)
- [39] SANDVIK Coromant. *Vyvrtávání* [online]. - [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/boring/pages/default.aspx>
- [40] SANDVIK Coromant. *Vyvrtávání - dokončování* [online]. - [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/boring/pages/default.aspx>
- [41] *Výhody vyvrtávání*. -. Dostupné z: [http://www.narexmte.cz/usnadneni/TO\\_vyvrtavani.pdf](http://www.narexmte.cz/usnadneni/TO_vyvrtavani.pdf)
- [42] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část* [online]. 2004 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-2cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf)
- [43] T-support. *Dokončovací operace při obrábění otvorů* [online]. 2012 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <http://www.t-support.cz/kat/dokoncovaci-operace-pri-obrabeni-otvoru-11>
- [44] *Analýza termodynamických jevů při broušení*. -. Dostupné také z: <http://www.fvt.tuke.sk/journal/pdf08/2-str-14-16.pdf>
- [45] *TECHNOLOGIE II - 2. díl*. 2008. Dostupné také z: [http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta\\_Technologie\\_II\\_2dil.pdf](http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf)

- [46] Zbytková pnutí při vysokorychlostním frézování. *MM Průmyslové Spektrum* [online]. 2007, č. 5 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zbytkova-pnuti-pri-vysokorychlostnim-frezovani.html>
- [47] MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. 2005. *Základy technologie II*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT. ISBN 80-01-02610-8. Dostupné také z: [http://www.strojar.com/upload/skripta/1rocnik/zaklady\\_techologie\\_2.pdf](http://www.strojar.com/upload/skripta/1rocnik/zaklady_techologie_2.pdf)
- [48] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část* [online]. 2003 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci\\_a\\_nekonvencni\\_metody\\_obrabeni/TI\\_TO-3.cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf)
- [49] *Základní konvenční technologie obrábění: BROUŠENÍ BROUSICÍMI KOTOUČI*. 2013. Dostupné také z: [http://educom.tul.cz/educom/inovace/TOB/VY\\_03\\_55-z%C3%A1kladn%C3%AD%20konven%C4%8Dn%C3%AD%20techgie%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD\\_BROU%C5%A0EN%C3%8D%20BROUS%C3%8DC%C3%8D%20KOTOU%C4%8CI\\_MZ\\_6.pdf](http://educom.tul.cz/educom/inovace/TOB/VY_03_55-z%C3%A1kladn%C3%AD%20konven%C4%8Dn%C3%AD%20techgie%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD_BROU%C5%A0EN%C3%8D%20BROUS%C3%8DC%C3%8D%20KOTOU%C4%8CI_MZ_6.pdf)
- [50] GARANT Příručka obrábění. 2006
- [51] Dokončovací operace vystružování. *MM Průmyslové Spektrum* [online]. 2006, č. 6 [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/dokoncovaci-operace-vystruzovani.html>
- [52] *Nástroje na obrábění otvorů Tools for hole-machining: NAREX consult a.s. -*. Dostupné také z: [http://www.narexcon.cz/content/file/NC\\_obrabeni.pdf](http://www.narexcon.cz/content/file/NC_obrabeni.pdf)
- [53] MICHNA, Štefan, Ivan LUKÁČ, Vladivoj OČENÁŠEK, Rudolf KOŘENÝ, Jaromír DRÁPALA, Heinz SCHNEIDER a Andrea MIŠKUFOVÁ. *ENCYKLOPEDIIE HLINÍKU*. Prešov: Adin, s. r. o., 2005. ISBN 80-89041-88-4.
- [54] ROUČKA, Jaromír. 2006. *Metalurgie neželezných slitin*. 2006. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. ISBN 978-80-2142-790-7.
- [55] Nástroje pro obrábění hliníkových slitin s mikroleštěným povrchem. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, č. 4 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nastroje-pro-obrabeni-hlinikovych-slitin-s-mikrolestenym-povrchem.html>

- [56] *Tepelné zpracování hliníkových slitin - teorie* [online]. - [cit. 2015-03-27].  
Dostupné z: [http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_tepelne\\_zprac\\_hlin\\_sl/index.htm](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_tepelne_zprac_hlin_sl/index.htm)
- [57] RYŠ, Přemysl, Mirko KLESNIL a V. USTOHAL. *Nauka o materiálu*. 1965.
- [58] *Technické údaje hliníku a jeho slitin*. -. Dostupné z: [http://www.alucad.cz/public/var/files/file\\_109.pdf](http://www.alucad.cz/public/var/files/file_109.pdf)
- [59] *Nauka o materiálu - NÁVRHY NA OPAKOVÁNÍ*. -. Dostupné z: [http://www.ateam.zcu.cz/Nauka\\_opak.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/Nauka_opak.pdf)
- [60] *Rozpouštěcí žíhání a stárnutí hliníkových slitin* [online]. - [cit. 2015-03-27].  
Dostupné z: <http://www.bodycote.com/cs-CZ/services/heat-treatment/solution-and-age/aluminium-alloys.aspx>
- [61] *Precipitace* [online]. - [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: [http://www.ateam.zcu.cz/download/Precipitace09\\_10.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/Precipitace09_10.pdf)
- [62] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II. 2. opravené a rozšířené*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
- [63] SANDVIK COROMANT. *Obrobitelnost* [online]. 2008 [cit. 2015-03-05].  
Dostupné z: [http://www.sandvik.coromant.com/cs-z/knowledge/materials/workpiece\\_materials/machinability\\_definition/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/cs-z/knowledge/materials/workpiece_materials/machinability_definition/pages/default.aspx)
- [64] *Obrábění slitiny hliníku nástroji s progresivními tenkými vrstvami* [online]. 2007 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: [http://www.ateam.zcu.cz/download/prispevek\\_Aluminium07.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/prispevek_Aluminium07.pdf)
- [65] *Obrábění zasucha - ano, či ne? (2. část)*. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001, č. 12 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-zasucha-ano-ci-ne-2-cast.html>
- [66] BORO VAN, Petr. *Zvláštnosti třískového obrábění vybraných materiálových skupin* [online]. 2012 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: <http://www.t-support.cz/kat/zvlastnosti-triskoveho-obrabeni-vybranych-materialovych-skupin-12>

- [67] DE VOS, Patrick. Příručka pro technology - Opotřebení se nevyhneme!. *MM Průmyslové spektrum*[online]. 2012, č. 6 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-opotrebeni-se-nevyhneme.html>
- [68] KOCMAN, K. a J. PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2068-0.
- [69] Trendy v povlakování slinutých karbidů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001, č. 7 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-povlakovani-slinutych-karbidu.html>
- [70] BAMBULA, Michael. *Hodnocení obrobitelnosti slitinu hliníku*. Brno, 2008. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=6432](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6432).  
Bakalářská práce.
- [71] HUMÁR, Anton. *MATERIÁLY PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE* [online]. 2006 [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat\\_pro\\_rez\\_nastroje/materialy\\_pro\\_rezne\\_nastroje\\_v2.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf)
- [72] PKD a CBN nástroje. *MM Průmyslové spektrum*. 2012, č. 9. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pkd-a-cbn-nastroje.html>
- [73] *Polykrystalický diamant* [online]. - [cit. 2015-03-27]. Dostupné z: [http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting\\_tool\\_materials/polycrystalline\\_diamond/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/polycrystalline_diamond/pages/default.aspx)
- [74] MARTINCOVÁ, Zdeňka. *Supertvrdé řezné materiály a jejich efektivní využití*. Brno, 2008. Dostupné také z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=5152](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5152).  
Diplomová práce.
- [75] BE GROUP. -. *Produkty* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.begroup.com/cz/BE-Group-Czech-Republic/Produkty/Hlinik-1/znaeni-hliniku-a-jeho-slitin-v-stav/>

- [76] Total Materia. -. *Třída hliníku* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=AluminumGrades&LN=CZ>
- [77] *Vertikální obráběcí centrum CNC DECKEL MAHO DMC 65 V.* -. Dostupné také z: <http://unimachines.cz/vertik%C3%A1ln%C3%AD-obr%C3%A1b%C4%9Bc%C3%AD-centrum-cnc-deckel-maho-dmc-65-v-2001-2172.pdf>
- [78] CHIRON-WERKE GmbH & Co. 2015. *Machining Centres* [online]. [cit. 2015-05-07]. Dostupné z: <http://www.chiron.de/en/home/machining-centres/series/series-15.html>
- [79] *KATALOG I VÝROBNÍ MĚŘICÍ TECHNIKA.* -. Dostupné také z: [http://www.meridla-nastroje.cz/files/katalogy/Katalog\\_meridel\\_Mahr.pdf](http://www.meridla-nastroje.cz/files/katalogy/Katalog_meridel_Mahr.pdf)



## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 – Sídlo firmy .....	11
Obr. 2 – Závod 1 .....	12
Obr. 3 – Závod 2 .....	12
Obr. 4 – Lisované a svařované díly .....	13
Obr. 5 – Obráběné díly.....	14
Obr. 6 – Podíl jednotlivých segmentů výroby společnosti .....	14
Obr. 7 – Členění geometrických tolerancí dle ISO 1101 .....	16
Obr. 8 – Geometrická odchylka .....	16
Obr. 9 – Toleranční pole kruhovitosti a válcovitosti .....	17
Obr. 10 – Profil povrchu .....	19
Obr. 11 – Profily povrchu .....	20
Obr. 12 – Posuzování a hodnocení drsnosti .....	20
Obr. 13 – Extrémy profilu povrchu .....	21
Obr. 14 – Parametry drsnosti Ra a Rz.....	21
Obr. 15 – Křivka materiálového podílu drsnosti povrchu .....	22
Obr. 16 - Schématické znázornění zbytkových napětí I, II. a III. druhu .....	24
Obr. 17 – Vliv tlakového a tahového napětí na vznikající trhlinu .....	25
Obr. 18 – Průběh tahových a tlakových napětí po broušení .....	26
Obr. 19 - Vliv zaoblení ostří na povrch obrobku .....	26
Obr. 20 - Charakteristické průběhy zpevnění v povrchové vrstvě.....	27
Obr. 21 – Soustružení vnitřních ploch .....	29
Obr. 22 - Frézování vnitřní válcové plochy spirálovou interpolací .....	30
Obr. 23 – Vyvtávání otvorů .....	34
Obr. 24 – Brusné zrno – břit .....	35
Obr. 25 – Sled operací vedoucí ke zvýšení parametrů kvality otvoru .....	36
Obr. 26 - Vztah velikosti posuvu a úhlu nastavení hl. ostří na tloušťku třísky .....	37
Obr. 27 – Využití slitin hliníku v leteckém průmyslu .....	40
Obr. 28 – Využití slitin hliníku u vozu Audi 100 .....	40
Obr. 29 - Tepelné zpracování.....	43
Obr. 30 - Stárnutí při odlišných teplotách.....	44
Obr. 31 – Parametry popisující obrobitelnost.....	47
Obr. 32 – Opatřebení nástroje - nárůstek.....	48
Obr. 33 - Typické třísky rozdělené do skupin podle tvaru .....	49


Obr. 34 – Geometrie nástroje pro obrábění Al slitin .....	50
Obr. 35 - Vsazené a připájené roubíky do připraveného vybrání .....	51
Obr. 36 – Součást INLET FLANGE.....	54
Obr. 37 – Jednovřetenové obráběcí centrum DMC 65V .....	55
Obr. 38 – Pracovní prostor obráběcího centra DMC 65V .....	56
Obr. 39 – Sdružený vrták pro předvrtání otvoru.....	57
Obr. 40 – Tvarová fréza .....	57
Obr. 41 – Dvouvřetenové obráběcí centrum CHIRON DZ15 W .....	58
Obr. 42 – Pracovní prostor obráběcího centra CHIRON DZ15 W .....	59
Obr. 43 – Rozmístění dílů upnutých na stole stroje.....	59
Obr. 41 – Sdružený vrták .....	60
Obr. 42 – Výstružník s řeznými elementy z PKD .....	60
Obr. 43 – MarSurf XR 20 .....	63
Obr. 44 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvor 1 .....	65
Obr. 45 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvor 3 .....	65
Obr. 46 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvor 2 .....	65
Obr. 47 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvor 4 .....	65
Obr. 48 – Výsledek měření kruhovitosti – otvor 1 .....	66
Obr. 49 – Výsledek měření kruhovitosti – otvor 2 .....	66
Obr. 50 - Výsledek měření kruhovitosti – otvor 3 .....	66
Obr. 51 – Výsledek měření kruhovitosti – otvor 4 .....	66
Obr. 52 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvor 1 .....	68
Obr. 53 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvoru 3 .....	68
Obr. 54 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvor 2 .....	68
Obr. 55 - Výsledek měření drsnosti povrchu - otvoru 4 .....	68
Obr. 56 - Výsledek měření kruhovitosti – otvor 1 .....	69
Obr. 57 - Výsledek měření kruhovitosti – otvor 2 .....	69
Obr. 58 - Výsledek měření kruhovitosti – otvor 3 .....	69
Obr. 59 - Výsledek měření kruhovitosti – otvor 4 .....	69

Tabulka 1 - Značky pro odchylky polohy a směru .....	17
Tabulka 2 - Značky pro odchylky tvaru.....	18
Tabulka 3 – Výběr fyzikálních vlastností hliníku.....	39
Tabulka 4 – Značení materiálu a jeho vlastnosti .....	54
Tabulka 5 – Mechanické vlastnosti Al slitiny.....	54
Tabulka 6 – Základní parametry obráběcího centra DMC 65V .....	56
Tabulka 7 – Základní parametry obráběcího centra DZ 15W .....	59
Tabulka 8 – Podmínky měření.....	64
Tabulka 9 – Výsledky měření drsnosti povrchu .....	64
Tabulka 10 – Výsledky měření drsnosti povrchu .....	67
Tabulka 11 – Porovnání časů výroby.....	70
Tabulka 12 – Spotřeba času na kus a počet vyrobených kusů za směnu.....	71

### **Poděkování**

Tímto děkuji **doc. Ing. Vladímíru Vrbovi, CSc.**, za konzultace, rady a připomínky, které mi během psaní diplomové práce poskytl. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Jaroslavu Tempírovi, vedoucímu útvaru technologie obrábění společnosti KLEIN automotive s.r.o., za odborné vedení a poskytnutí velkého množství cenných informací.

V Ostravě 18.5.2015

  
.....  
podpis studenta